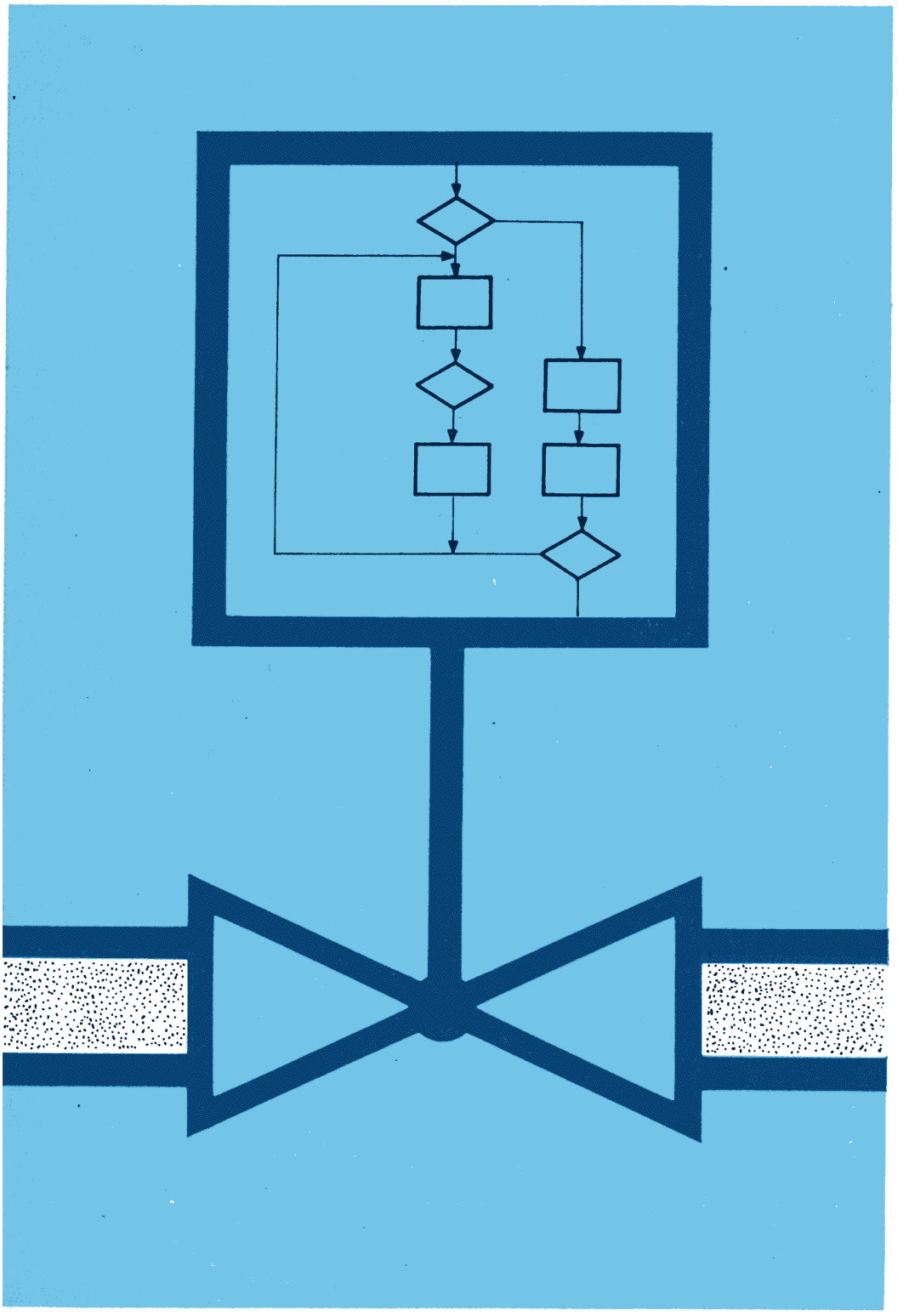
5 msr

1982 messen · steuern · regeln



25. Jahrgang
Heft 5
Mai 1982

Verlagspostamt Leipzig
EVP: 4,00 M

VEB
Verlag Technik
Berlin

Index 32 525
ISSN 0026-0347

Relaisschutztechnik in Elektroenergiesystemen

Von Dr.-Ing. Heinz Clemens und
Dr.-Ing. Klaus Rothe

2., durchgesehene Auflage. 324 Seiten,
258 Bilder, 24 Tafeln, Kunstleder, 24,— M,
Ausland 30,— M.
Bestellangaben: 5527164/Clemens, Schutztechnik.

Das Hochschullehrbuch enthält eine geschlossene, aktuelle Darstellung des Wissenschaftsgerüstes für das Fachgebiet der Schutztechnik in Elektroenergiesystemen (Relaisschutztechnik).
Von den Verhältnissen und Forderungen des Netzbetriebs ausgehend, werden die Schutzkriterien bezüglich ihrer Tauglichkeit und Leistungsfähigkeit behandelt und Prinzipiösungen der Meßrelaistechnik und Schutzschaltungen im Aufbau, ihrem Verhalten und ihren Anwendungsgrenzen betrachtet. Dabei werden sowohl die gebräuchliche, hochentwickelte konventionelle Technik als auch die elektronischen Lösungen erläutert.
Neben der Nutzung für das Studium ist das Buch wertvoll zur Weiterbildung und Information von in der Praxis tätigen Fachleuten mit Hoch- und Fachschulbildung.

Auslieferung in diesen Tagen.
Im Fachbuchhandel erhältlich.

VT

VEB VERLAG TECHNIK BERLIN

ВТ

ВСЕСОЮЗНОЕ ОБЪЕДИНЕНИЕ
ВНЕШТЕХНИКА

Die sowjetische Außenhandelsorganisation „Vneshtechnika" bietet ihre kommerzielle Hilfe den sowjetischen und ausländischen Organisationen und Firmen bei der Ausführung der folgenden wissenschaftlich-technischen Arbeiten und Dienstleistungen an:

- Projektierungs-, Konstruktions-, Forschungs- und Versuchsarbeiten (sowohl Auftrags- als auch Kooperationsaufgaben)
- Prüfung von Maschinen, Industrieausrüstungen, Roh- und Werkstoffen
- Gutachten, Konsultationen für Fachleute aller wichtigen Industriebereiche
- Ein- und Ausfuhr von Mustern wissenschaftlicher Geräte, von Erzeugnissen, Roh- und Werkstoffen
- Projektierung und Ausleihe wissenschaftlicher Ausrüstungen
- Lieferung von kompletten technischen Dokumentationen für modernste Industrieausrüstungen, Apparate, Anlagen, Werkzeugmaschinen und Industrietechnologien
- Übersetzung technischer Unterlagen aus westeuropäischen Sprachen ins Russische.

Die Aufträge werden unter Einsatz neuester wissenschaftlicher Erkenntnisse ausgeführt.

Anschrift:
V/O „Vneshtechnika"
UdSSR Moskau 119034
Starokonjuschennyi per., 6
Telex: 411418 „MOLOT"
Telefon: 201-72-60

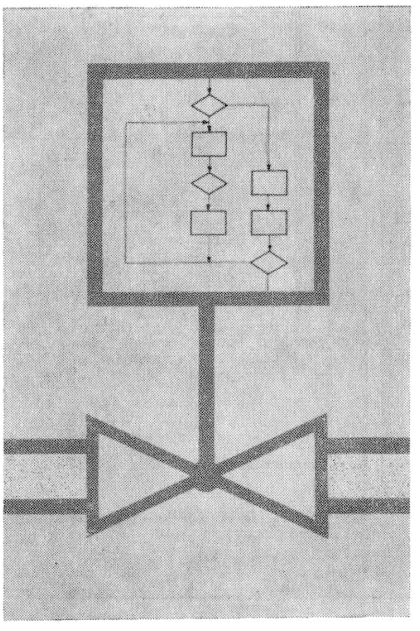
Anschrift der Filiale:
V/O „Vneshtechnika" Kiev
UdSSR Kiev 252033
Nikolsko-Botanitscheskaja ul., 2
Telex: Kiev, Vneshtechnika
Telefon: 24-51-44

VSESOJUZNOJE OBJEDINENIJE
VNESHTECHNIKA

msr

messen · steuern · regeln

Wissenschaftlich-technische Zeitschrift für die Automatisierungstechnik



Infolge des raschen Entwicklungstempos mikroelektronischer Bauelemente und Bausteine sind parallel zu den wachsenden Bedürfnissen auch die Voraussetzungen für neuartige Automatisierungskonzepte vorhanden. Ein prägnantes Beispiel dafür sind „intelligente" buskoppelbare Stelleinrichtungen auf der Basis von Einchipmikrorechnern. Ihr besonderes Merkmal ist der Wegfall der informationsverarbeitenden Einheit als Gerät, so daß die entsprechenden Funktionen (Messungen, Steuerungen, Regelungen) direkt in den „intelligenten" Meßgliedern bzw. Stelleinrichtungen realisiert werden.
Erste Vorstellungen zu dieser Thematik beschreibt der Beitrag auf S. 257

Titelgrafik: *G. Schwesinger*

Herausgeber:
Wissenschaftlich-Technische Gesellschaft für Meß- und Automatisierungstechnik (WGMA) in der KDT

Redaktionsbeirat:
Obering. G. F. Berg, Dr. rer. nat. A. Borgwardt, Dr.-Ing. E. h. W. Britall, Prof. Dr.-Ing. W. Fritzsch, Doz. Dr.-Ing. H. Fuchs, Dr. rer. nat. H. Gena, Dipl.-Ing. H. Gottschalk, Dr.-Ing. K. Hilscher, Prof. Dr.-Ing. habil. D. Hofmann, Dipl.-Ing. K. Keller, Prof. em. Dr. phil. nat. Dr.-Ing. E. h. H. Kindler, Dipl.-Phys. G. Meister, Dr.-Ing. J. Müller, Prof. Dr. sc. techn. R. Müller, Obering. K.-H. Nagel, Prof. Dr.-Ing. S. Pilz, Dr.-Ing. W. Reichel, Prof. Dr. sc. techn. K. Reinisch, Dr.-Ing. H. Schulze, Prof. Dr.-Ing. H. Töpfer, Prof. Dr. sc. oec. G. Viehweger

5

25. Jahrgang
Mai 1982

VEB
VERLAG TECHNIK

AUFSÄTZE

ISSN 0026-0347

242 *H. Bode*
Entwurf eines Beobachters für ein dezentralisiertes System mit sich anschließender Dezentralisation des Gesamtsystems

245 *H.-W. Röder* und *G.-S. Rösel*
Methode zum Entwurf optimaler Ausgangsgrößenregler und ihre Anwendung am Beispiel eines Dampferzeugers

249 *R. Noisser*
Polvorgabe unter Berücksichtigung der Stabilitätsreserve und der Verstärkung des Meßrauschens

255 *M. Peschel* und *W. Mende*
Identifikation von Triebkraftmodellen vom Potenzprodukttyp

257 *W. Bennewitz, Th. Brauer* und *R. Müller*
Konzeption einer „intelligenten" Stelleinrichtung

261 *G. Hofmann*
Erscheinungen der Synonymie in der deutschen und englischen Meßtechnikterminologie

265 *J. Wilke, R. Hille* und *M. Horn*
Experimentelle Untersuchung des dynamischen Verhaltens von betrieblichen IR-Gasanalysatoren

270 *A. Friedrich*
Entwicklung und Bau von Programmsteuerungen unter Verwendung von universellen Programmsteuerbausteinen oder Standardprogrammen

273 **Programmierbare nichtnumerische Steuerungen (XVI)**

275 *R. Wolf* und *K. Fiedler*
Elektronische Schaltungen der Automatisierungstechnik (39)

277 **KURZBEITRÄGE**

280 **TAGUNGEN UND KOLLOQUIEN**

284 **MESSEN UND AUSSTELLUNGEN**

285 **DISSERTATION**

286 **TECHNISCHE INFORMATION**

287 **PATENTREFERATE**

289 **HISTORISCHES**

292 **BUCHBESPRECHUNGEN**

297 **VORSCHAU UND KURZINFORMATIONEN**

3. US **NEUE BÜCHER AUS DER UDSSR**

Dr.-Ing. *H. Bode*, Magdeburg[1])

Entwurf eines Beobachters für ein dezentralisiertes System mit sich anschließender Dezentralisation des Gesamtsystems

IA 2.1.7.; 2.3.1.7.

0. Einleitung

Ein großer Teil der modernen Entwurfsverfahren setzt die Kenntnis des Zustandes voraus. Dies bedeutet aber, da es bekanntlich nicht immer möglich ist, alle Systemzustände zu messen, Zustandsschätzer bzw. Beobachter zu verwenden. Ausgehend vom Konzept der dezentralen Regelung wird anhand des Modells eines konkreten technologischen Prozesses der Entwurf eines Beobachters durchgeführt. Ausgangspunkt ist die in [1] beschriebene Methode der Eingangsdezentralisation nach *Šiljak* und *Vukčevic* sowie das dazugehörige Modell des Prozesses. An den Beobachterentwurf schließt sich die Dezentralisation des Gesamtsystems an.

1. Allgemeine Bemerkungen zum Beobachterentwurf

Ein Beobachter ist ein dynamisches System, mit dessen Hilfe es unter Verwendung der meßbaren Zustands- und Eingangsgrößen möglich ist, die nicht meßbaren Zustände eines Systems zu rekonstruieren. Ausgangsbasis ist das mathematische Modell des betrachteten Prozesses und Ziel, neben der Rekonstruktion des Zustandes, eine Minimierung des Schätzfehlers.
Ausführliche Betrachtungen zur Beobachterproblematik findet man in [2] und [3]. Wie einleitend angeführt, wurden in [1] verschiedene Möglichkeiten der Eingangsdezentralisation an dem Modell eines konkreten Prozesses untersucht. Es ergaben sich stets bei einem System 4. Ordnung — Strecke/Meßeinrichtung — zwei Teilsysteme, wobei aber jeweils ein System nicht beobachtbar ist, d. h., die dazugehörige Ausgangsmatrix ist Null.
Das in [4] beschriebene Verfahren zum Beobachterentwurf ist hier nicht anwendbar, da für jedes Teilsystem die Beobachtbarkeitsbedingung erfüllt sein muß.
Es soll nun versucht werden, mit einem in [5] vorgeschlagenen Verfahren einen sog. Tandembeobachter zu entwerfen und dabei aber gleichzeitig, neben der eingangsdezentralen Struktur, die ausgangsdezentrale zu erhalten.

2. Ausgangsbasis für das Verfahren

Das Verfahren des Entwurfs eines Tandembeobachters setzt voraus, daß der zu behandelnde Prozeß durch zwei Teilmodelle, z. B. Strecke und Meßeinrichtung, die in Reihe geschaltet sind, beschrieben werden kann (Bild).

$$\dot{\boldsymbol{x}}_1 = \boldsymbol{A}_1\boldsymbol{x}_1 + \boldsymbol{B}_1\boldsymbol{u}_1\,, \tag{1}$$

$$\boldsymbol{y}_1 = \boldsymbol{C}_1\boldsymbol{x}_1 + \boldsymbol{D}_1\boldsymbol{u}_1 \tag{2}$$

und

$$\dot{\boldsymbol{x}}_2 = \boldsymbol{A}_2\boldsymbol{x}_2 + \boldsymbol{B}_2\boldsymbol{u}_2 + \boldsymbol{E}_1\boldsymbol{y}_1\,, \tag{3}$$

$$\boldsymbol{y}_2 = \boldsymbol{C}_2\boldsymbol{x}_2 + \boldsymbol{D}_2\boldsymbol{u}_2 + \boldsymbol{E}_2\boldsymbol{y}_1\,. \tag{4}$$

[1]) Mitteilung aus der TH „Otto von Guericke" Magdeburg, Sektion 9, WB Regelungstechnik und Prozeßsteuerungen.

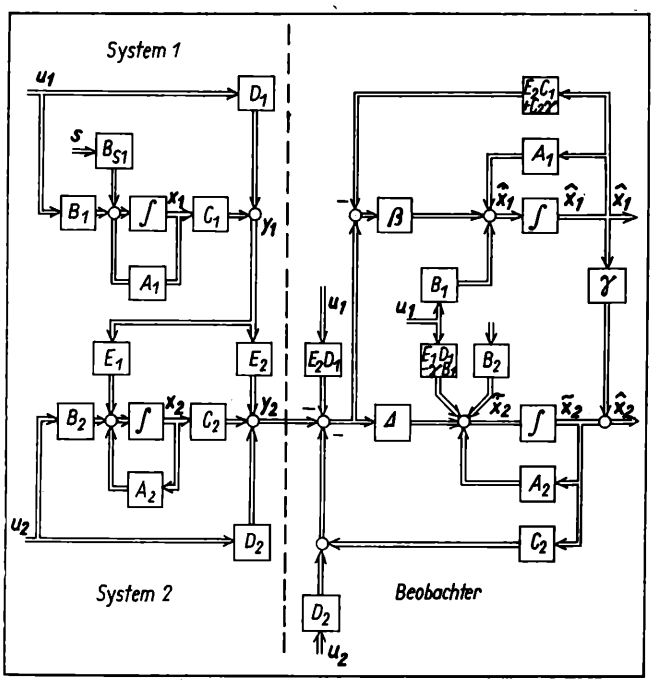


Bild. System — Strecke/Meßeinrichtung — mit entkoppeltem Beobachter nach [5]

3. Das Prozeßmodell

Das mathematische Modell des Prozesses ist aus [1] entnommen.

$$\begin{bmatrix}\dot{\bar{x}}_1\\ \dot{\bar{x}}_2\\ \dot{\bar{x}}_3\\ \dot{\bar{x}}_4\end{bmatrix} = \begin{bmatrix}\bar{a}_{11} & \bar{a}_{12} & 0 & 0\\ \bar{a}_{21} & \bar{a}_{22} & 0 & 0\\ 0 & 0 & 0 & 1\\ \bar{a}_{41} & \bar{a}_{42} & \bar{a}_{43} & \bar{a}_{44}\end{bmatrix}\begin{bmatrix}\bar{x}_1\\ \bar{x}_2\\ \bar{x}_3\\ \bar{x}_4\end{bmatrix} + \begin{bmatrix}1 & 0\\ 0 & 1\\ 0 & 0\\ 0 & 0\end{bmatrix}\begin{bmatrix}u_1\\ u_2\end{bmatrix} + \begin{bmatrix}\boldsymbol{B}_{s1}\\ 0\end{bmatrix}[s_1]\,, \tag{5}$$

$$[y] = [0 \quad 0 \quad 1 \quad 0]\,[\bar{\boldsymbol{x}}]\,. \tag{6}$$

Auf die Gln. (1) bis (4) aufgeschlüsselt, ergibt dies für die Strecke

$$\boldsymbol{A}_1 = \begin{bmatrix}\bar{a}_{11} & \bar{a}_{12}\\ \bar{a}_{21} & \bar{a}_{22}\end{bmatrix};\quad \boldsymbol{B}_1 = \begin{bmatrix}1 & 0\\ 0 & 1\end{bmatrix};\quad \boldsymbol{C}_1 = [\bar{c}_{111} \quad \bar{c}_{112}];$$

$$\boldsymbol{D}_1 = \boldsymbol{0};\quad \boldsymbol{E}_1 = \begin{bmatrix}0\\ \bar{e}_{121}\end{bmatrix};\quad \boldsymbol{B}_{s1} = \begin{bmatrix}\bar{b}_{s11} & \bar{b}_{s12} & \bar{b}_{s13} & \bar{b}_{s14}\\ \bar{b}_{s21} & \bar{b}_{s22} & \bar{b}_{s23} & \bar{b}_{s24}\end{bmatrix}$$

und für die Meßeinrichtung

$$\boldsymbol{A}_2 = \begin{bmatrix}0 & 1\\ \bar{a}_{43} & \bar{a}_{44}\end{bmatrix};\quad \boldsymbol{B}_2 = \boldsymbol{0};\quad \boldsymbol{C}_2 = [1 \quad 0];\quad \boldsymbol{D}_2 = \boldsymbol{0};\quad \boldsymbol{E}_2 = 0\,.$$

Damit ergeben sich die Gln. (5) und (6) zu

$$\begin{bmatrix}\dot{\bar{x}}_1\\ \dot{\bar{x}}_2\end{bmatrix} = \begin{bmatrix}\boldsymbol{A}_1 & 0\\ \boldsymbol{E}_1\boldsymbol{C}_1 & \boldsymbol{A}_2\end{bmatrix}\begin{bmatrix}\bar{\boldsymbol{x}}_1\\ \bar{\boldsymbol{x}}_2\end{bmatrix} + \begin{bmatrix}\boldsymbol{B}_1\\ 0\end{bmatrix}[u_1] + \begin{bmatrix}\boldsymbol{B}_{s1}\\ 0\end{bmatrix}[s_1]\,, \tag{7}$$

$$[y] = [0 \quad \boldsymbol{C}_2]\begin{bmatrix}\bar{\boldsymbol{x}}_1\\ \bar{\boldsymbol{x}}_2\end{bmatrix}. \tag{8}$$

4. Entwurfsprozedur

Nach [5] ergibt sich folgende Prozedur für den Reihenentwurf:

— Die Werte der Δ-Matrix ergeben sich aus der gewünschten Lage der Eigenwerte des Systems $\tilde{\boldsymbol{x}}_2$. Dabei ist darauf zu achten, daß diese Eigenwerte nicht mit denen von $\boldsymbol{A}_1$ zusammenliegen dürfen.
Als Rechenvorschrift ergibt sich

$$\det\left[(\boldsymbol{A}_2 - \Delta\boldsymbol{C}_2) - \lambda\boldsymbol{I}\right] = \boldsymbol{0} \tag{9}$$

bzw. Entwurfsalgorithmus der „Modalen Regelung".

— Zur Ermittlung der Werte der γ-Matrix ist die Gleichung

$$(\boldsymbol{A}_2 - \Delta\boldsymbol{C}_2)\,\gamma - \gamma\boldsymbol{A}_1 = (\Delta\boldsymbol{E}_2 - \boldsymbol{E}_1)\,\boldsymbol{C}_1 \tag{10}$$

zu lösen.

— Die Werte der β-Matrix berechnen sich aus der gewünschten Lage der Eigenwerte des Systems $\hat{\boldsymbol{x}}_1$.
Als Rechenvorschrift gilt

$$\det\left[(\boldsymbol{A}_1 - \beta(\boldsymbol{E}_2\boldsymbol{C}_1 + \boldsymbol{C}_2\gamma)) - \lambda\boldsymbol{I}\right] = \boldsymbol{0} \tag{11}$$

bzw. Entwurfsalgorithmen der „Modalen Regelung".

5. Entwurf und Ergebnisse

5.1. Δ-Matrix

Die Eigenwerte des 2. Systems — Meßeinrichtung — liegen bei λ_1 und λ_2 und sollen nach λ_1' und λ_2' verschoben werden

$$\lambda_1 = -0{,}042\,194 \rightarrow \lambda_1' = -4{,}675\,105\,,$$
$$\lambda_2 = -0{,}632\,911 \rightarrow \lambda_2' = -10\,.$$

Dies liefert:

$$\Delta_{11} = 14; \qquad \Delta_{21} = 37{,}272\,875\,.$$

5.2. γ-Matrix

Durch Gl. (10) erhält man

$$\gamma = \begin{bmatrix}\gamma_{11} & \gamma_{12}\\ \gamma_{21} & \gamma_{22}\end{bmatrix} = \begin{bmatrix}0{,}540\,326 & -0{,}131\,723\\ 6{,}103\,256 & -1{,}456\,803\end{bmatrix}$$

5.3. β-Matrix

Die Eigenwerte des 1. Systems — Strecke — liegen bei λ_3 und λ_4, sie sollen nach λ_3' und λ_4' verschoben werden

$$\lambda_3 = -3{,}0048 \rightarrow \lambda_3' = -3{,}0305\,,$$
$$\lambda_4 = -49{,}37 \rightarrow \lambda_4' = -49{,}3749\,.$$

Dies liefert:

$$\beta_{11} = -1{,}65; \qquad \beta_{21} = -7\,.$$

Damit sind die Werte der drei Beobachtermatrizen, aus denen die restlichen Matrizen abgeleitet werden, bestimmt.

6. System — Strecke, Meßeinrichtung, Beobachter —

Aus der Zusammenschaltung dieser drei Elemente bzw. Teilsysteme ergibt sich ein System 8. Ordnung.

$$\begin{bmatrix}\dot{\bar{\boldsymbol{x}}}_1\\ \dot{\bar{\boldsymbol{x}}}_2\\ \dot{\hat{\boldsymbol{x}}}_1\\ \dot{\hat{\boldsymbol{x}}}_2\end{bmatrix} = \begin{bmatrix}\boldsymbol{A}_1 & 0 & 0 & 0\\ \boldsymbol{E}_1\boldsymbol{C}_1 & \boldsymbol{A}_2 & 0 & 0\\ 0 & \beta\boldsymbol{C}_2 & \boldsymbol{A}_1 & -\beta\boldsymbol{C}_2\\ 0 & (\Delta+\gamma\beta)\,\boldsymbol{C}_2 & \boldsymbol{E}\boldsymbol{C}_1 & \boldsymbol{A}_2 - (\Delta+\gamma\beta)\,\boldsymbol{C}_2\end{bmatrix} \times \begin{bmatrix}\bar{\boldsymbol{x}}_1\\ \bar{\boldsymbol{x}}_2\\ \hat{\boldsymbol{x}}_1\\ \hat{\boldsymbol{x}}_2\end{bmatrix} + \begin{bmatrix}\boldsymbol{B}_1\\ 0\\ \boldsymbol{B}_1\\ 0\end{bmatrix}[\boldsymbol{u}_1] + \begin{bmatrix}\boldsymbol{B}_{s1}\\ 0\\ 0\\ 0\end{bmatrix}[\boldsymbol{s}_1]\,. \tag{12}$$

Über den Aufbau der Ausgangsmatrix wird erst etwas nach Abschluß der Eingangsdezentralisation ausgesagt. Die mit „$\hat{x}_1$" versehenen Zustände entsprechen den beobachteten des Originalsystems „$\bar{x}_1$".

7. Eingangsdezentralisation des Gesamtsystems

7.1. *Das Gesamtmodell und seine Teilmodelle*

Entsprechend [1] wird zunächst die Anzahl „t" der möglichen Teilsysteme ermittelt, in die das Gesamtsystem (12) zerlegt werden kann. Mit $t = \frac{n}{m} = 4$, wo n der Systemordnung und m der Anzahl der Steuergrößen entspricht, besteht also die Möglichkeit der Vierteilung. Die minimale Ordnung eines Teilsystems ergibt sich aus $l_{\mathrm{p\,min}} = m = 2$.
Obwohl die Steuerbarkeitsbedingung nur für zwei Teilsysteme erfüllt ist, läßt sich entsprechend [1] trotzdem die Prozedur der Eingangsdezentralisation am durch die Gl. (12) beschriebenen Modell durchführen, da die nicht steuerbaren Teilsysteme — Meßeinrichtungen — jeweils in Reihe zu einem steuerbaren Teilsystem geschaltet sind.
Zur Vereinfachung wird die Gl. (12) wie folgt umgeschrieben:

$$\dot{\bar{\boldsymbol{x}}} = \bar{\boldsymbol{A}}\bar{\boldsymbol{x}} + \bar{\boldsymbol{B}}\boldsymbol{u} + \bar{\boldsymbol{B}}_s\boldsymbol{s}\,. \tag{13}$$

7.2. *Zuordnung der Zustände zu den Steuergrößen*

7.2.1. Teilsystem 1

Das Teilsystem 1 entspricht dem Modell der Strecke, es liegt bereits in eingangsdezentraler Form vor, d. h., je eine Zustandsgröße ist einer der beiden Steuergrößen zugeordnet. Als Kronecker-Indizes ergeben sich:

$$l_1 = n_{11} + n_{12} = 1 + 1 = 2\,. \tag{14}$$

7.2.2. Teilsystem 2

Das Teilsystem 2 liegt in Reihe zum Teilsystem 1 und stellt die Meßeinrichtung dar. In [1] wurden die verschiedenen Möglichkeiten der Zuordnung der Zustände zu den einzelnen Steuergrößen untersucht. Eine gleichmäßige Aufteilung der beiden Zustände auf die Steuergrößen ist nach [1] nicht möglich. Da es gleichgültig ist, welcher Steuergröße diese Zustände zugeordnet werden, wird für eine Zuordnung zur Steuergröße u_1 entschieden. Die Kronecker-Indizes ergeben sich zu:

$$l_2 = n_{21} + n_{22} = 2 + 0 = 2\,. \tag{15}$$

7.2.3. Teilsystem 3

Das Teilsystem 3 stellt den Beobachter für das Teilsystem 1 dar, so daß für die Zuordnung dieser Zustände zu den Steuergrößen das gleiche gilt; als Kronecker-Indizes erhält man

$$l_3 = n_{31} + n_{32} = 1 + 1 = 2\,. \tag{16}$$

7.2.4. Teilsystem 4

Das Teilsystem 4 stellt den Beobachter für das Teilsystem 2 dar, so daß für die Zuordnung dieser Zustände zu den Steuergrößen das gleiche gilt, aber aus Gründen der Symmetrie und der Gewinnung dezentraler Ausgangsgrößen werden die beobachteten Zustände der Meßeinrichtung diesmal der Steuergröße u_2 zugeordnet, so daß sich folgende Kronecker-Indizes ergeben:

$$l_4 = n_{41} + n_{42} = 0 + 2 = 2\,. \tag{17}$$

7.3. *Ordnung der eingangsdezentralisierten Teilsysteme*

Den beiden Steuergrößen werden jeweils soviel Zustände zugeordnet, wie aus den Kronecker-Indizes hervorgeht.
Ordnung des 1. Teilsystems

$$n_1 = n_{11} + n_{21} + n_{31} + n_{41} = 1 + 2 + 1 + 0 = 4\,. \tag{18}$$

Ordnung des 2. Teilsystems

$$n_2 = n_{12} + n_{22} + n_{32} + n_{42} = 1 + 0 + 1 + 2 = 4\,. \tag{19}$$

7.4. *Permutationsmatrix*

Aus jedem Teilsystem in eingangsdezentralisierter Form resultiert eine Permutationsmatrix, die in Blockform angeordnet die

Permutationsmatrix P des Gesamtsystems ergeben

$$P_1 = \begin{bmatrix} I_{11} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & I_{21} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & I_{31} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & I_{41} & 0 \end{bmatrix};$$

$$P_2 = \begin{bmatrix} 0 & I_{12} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & I_{22} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & I_{32} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & I_{42} \end{bmatrix}.$$

Mit P_1 und P_2 folgt

$$P = \begin{bmatrix} P_1 \\ P_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} I_{11} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & I_{21} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & I_{31} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & I_{41} & 0 \\ 0 & I_{12} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & I_{22} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & I_{32} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & I_{42} \end{bmatrix} \cdot \quad (20)$$

Entsprechend der in den Gln. (18) und (19) angegebenen Kronecker-Indizes ergeben sich für $I_{11} = I_{31} = I_{12} = I_{32}$ Einheitsmatrizen vom Format 1×1 und für $I_{21} = I_{42}$ Einheitsmatrizen vom Format 2×2. Für I_{41} und I_{22} sind die Kronecker-Indizes Null, d. h., diese Matrizen existieren nicht, somit sind in der Gl. (20) die dazugehörigen Zeilen und Spalten zu streichen. Nach dem Einsetzen der entsprechenden Einheitsmatrizen für die I_{ij} ergibt sich die endgültige Form der Permutationsmatrix P, G. (21)

$$P = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}. \quad (21)$$

7.5. Eingangsdezentralisiertes System

Unter Verwendung der Matrix P und der Beziehungen

$$A = P\bar{A}P^T; \quad B = P\bar{B}; \quad B_s = P\bar{B}_s; \quad C = \bar{C}P^T \quad (22)$$

ergibt sich dann das Gesamtsystem — Strecke, Meßeinrichtung, Beobachter — in eingangsdezentralisierter Form.

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_{11} \\ \dot{x}_{12} \\ \dot{x}_{13} \\ \dot{x}_{14} \\ \dot{x}_{21} \\ \dot{x}_{22} \\ \dot{x}_{23} \\ \dot{x}_{24} \end{bmatrix} = \left[\begin{array}{cccc:cccc} \bar{a}_{11} & 0 & 0 & 0 & \bar{a}_{12} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \bar{a}_{41} & \bar{a}_{43} & \bar{a}_{44} & 0 & \bar{a}_{42} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \bar{a}_{53} & 0 & \bar{a}_{55} & 0 & \bar{a}_{56} & \bar{a}_{57} & 0 \\ \hdashline \bar{a}_{21} & 0 & 0 & 0 & \bar{a}_{22} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \bar{a}_{63} & 0 & \bar{a}_{65} & 0 & \bar{a}_{66} & \bar{a}_{67} & 0 \\ 0 & \bar{a}_{73} & 0 & 0 & 0 & 0 & \bar{a}_{77} & 1 \\ 0 & \bar{a}_{83} & 0 & \bar{a}_{85} & 0 & \bar{a}_{86} & \bar{a}_{87} & \bar{a}_{88} \end{array}\right] \begin{bmatrix} x_{11} \\ x_{12} \\ x_{13} \\ x_{14} \\ x_{21} \\ x_{22} \\ x_{23} \\ x_{24} \end{bmatrix} +$$

$$+ \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 1 & 0 \\ \hdashline 0 & 1 \\ 0 & 1 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_1 \\ u_2 \end{bmatrix} + \left[\begin{array}{cccc} \bar{b}_{s11} & \bar{b}_{s12} & \bar{b}_{s13} & \bar{b}_{s14} \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ \hdashline \bar{b}_{s21} & \bar{b}_{s22} & \bar{b}_{s23} & \bar{b}_{s24} \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{array}\right] \begin{bmatrix} s_1 \\ s_2 \\ s_3 \\ s_4 \end{bmatrix}. \quad (23)$$

Als Ausgangsgrößen interessieren die beiden Zustände der Strecke $\bar{x}_1$ und $\bar{x}_2$ nach Gl. (5) bzw. die dazugehörigen meßbaren Werte des Beobachters $\hat{x}_1$ und $\hat{x}_2$. Aus dem Zusammenhang zwischen den Zuständen des Ausgangssystems nach Gl. (12) und denen des eingangsdezentralisierten Systems nach Gl. (23)

$$[x_{11} \quad x_{12} \quad x_{13} \quad x_{14}]^T = [\bar{x}_1 \quad \bar{x}_3 \quad \bar{x}_4 \quad \hat{x}_1]^T$$

und

$$[x_{21} \quad x_{22} \quad x_{23} \quad x_{24}]^T = [\bar{x}_2 \quad \hat{x}_2 \quad \hat{x}_3 \quad \hat{x}_4]^T$$

folgt der Aufbau der beiden Ausgangsgleichungen

$$\begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \end{bmatrix} = \left[\begin{array}{cccc:cccc} 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \end{array}\right] \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix}. \quad (24)$$

Aus Gl. (24) ist zu ersehen, daß jedes Teilsystem über eine Ausgangsgröße verfügt, die nur von den Zuständen des entsprechenden Teilsystems abhängt. Es liegen somit zwei eingangs-ausgangsdezentralisierte Teilsysteme vor, die nur über die Zustände untereinander verkoppelt sind.

Zusammenfassung

Anhand eines vorgegebenen Modells — Strecke/Meßeinrichtung — 4. Ordnung wird der Entwurf eines sog. Tandembeobachters gezeigt, mit dessen Hilfe es möglich ist, nicht meßbare Zustände von zwei in Reihe geschalteten Teilsystemen getrennt zu rekonstruieren. Das so entstandene Gesamtsystem wird danach einer Eingangsdezentralisation unterzogen. Durch eine gezielte Zuordnung der einzelnen Zustände zu den Steuergrößen gelingt es dann, gleichfalls aus jedem Teilsystem den gewünschten Zustand als Ausgangsgröße zu erhalten.

Als Ergebnis liegen somit zwei eingangs-ausgangsdezentralisierte Teilsysteme vor, die nur über die Zustandsgrößen untereinander verkoppelt sind.

Eine Rekonstruktion der Zustände über ein in [4] vorgeschlagenes Verfahren im Anschluß an eine Eingangsdezentralisation, wie sie in [1] durchgeführt wurde, scheitert, da eines der sich ergebenden Teilsysteme nicht beobachtbar ist.

Anlage: Größe der Modellkoeffizienten

$\bar{a}_{11} = -62{,}035 = \bar{a}_{55}$; $\bar{a}_{12} = 3{,}071\,83 = \bar{a}_{56}$; $\bar{a}_{21} = -243{,}3726 = \bar{a}_{65}$

$\bar{a}_{22} = 9{,}660\,151 = \bar{a}_{66}$; $\bar{a}_{41} = 0{,}204\,41 = \bar{a}_{85}$; $a_{42} = -1{,}221\,486 = \bar{a}_{86}$

$\bar{a}_{43} = -0{,}026\,705$; $\bar{a}_{44} = -0{,}675\,105 = \bar{a}_{88}$; $a_{53} = -1{,}65 = -\bar{a}_{57}$

$\bar{a}_{63} = -7 = -\bar{a}_{67}$; $\bar{a}_{73} = 14{,}030\,523 = -\bar{a}_{77}$; $\bar{a}_{83} = 37{,}400\,124$

$\bar{a}_{87} = -37{,}426\,829$

$\bar{b}_{s11} = -4{,}2278 \cdot 10^{-8}$; $\bar{b}_{s12} = -4{,}2823 \cdot 10^{-7}$; $\bar{b}_{s13} = -3{,}5883 \cdot 10^{-8}$; $\bar{b}_{s14} = -1{,}3622 \cdot 10^{-8}$

$\bar{b}_{s21} = -4{,}5119 \cdot 10^{-5}$; $\bar{b}_{s22} = -1{,}9378 \cdot 10^{-3}$; $\bar{b}_{s23} = -6{,}0048 \cdot 10^{-9}$; $\bar{b}_{s24} = -1{,}4537 \cdot 10^{-5}$

$\bar{c}_{111} = 637{,}868$; $\bar{c}_{112} = -3811{,}6638$; $\bar{e}_{121} = 0{,}000\,320\,46$

Literatur

[1] *Bode, H.:* Systementkopplung — Voraussetzung für den Entwurf dezentraler Regler auf Mikrorechnerbasis. msr 25 (1982) H. 4, S. 184—187.

[2] *Reinisch, K.:* Analyse und Synthese kontinuierlicher Steuerungssysteme. Berlin: VEB Verlag Technik 1979.

[3] *Ackermann, J.:* Einführung in die Theorie der Beobachter. Regelungstechnik 24 (1976) H. 7, S. 217—226.

[4] *Siljak, D.:* Large-scale dynamic systems-stability and structure. New York: North-Holland 1978.

[5] *Earhart, R. J.; Cavin, R. K.:* The serial design of tandem systems observers. Automatica, Vol. 8 (1972) pp. 641—646.

msr 7510

Dr.-Ing. *H.-W. Röder* und Dr.-Ing. *G.-S. Rösel*, Berlin[1])

Methode zum Entwurf optimaler Ausgangsgrößenregler und ihre Anwendung am Beispiel eines Dampferzeugers

IA 2.3.0.; 4.7.

0. Einleitung

Der Entwurf von Mehrgrößenregelungssystemen wird gegenwärtig auch für umfangreiche, d. h. hochdimensionale Prozeßmodelle mit Hilfe der optimalen Zustandsregelung (optimal control) erfolgreich durchgeführt [1] bis [4].
Als Ausgangspunkt dienen hierbei das lineare Prozeßmodell

$$\dot{\boldsymbol{x}} = \boldsymbol{A}\boldsymbol{x} + \boldsymbol{B}\boldsymbol{u}\,, \tag{1}$$

$$\boldsymbol{y} = \boldsymbol{C}\boldsymbol{x}\,, \tag{2}$$

$\left(\text{mit } \boldsymbol{A}\ (n \times n),\ \boldsymbol{B}\ (n \times m),\ \boldsymbol{C}(r \times n)\right)$

und das zu minimierende Funktional

$$I_{\mathrm{x}} = \int_0^\infty (\boldsymbol{x}^T \boldsymbol{Q}_{\mathrm{x}} \boldsymbol{x} + \boldsymbol{u}^T \boldsymbol{Q}_{\mathrm{u}} \boldsymbol{u})\,\mathrm{d}t\,. \tag{3}$$

Die Parameter des optimalen Reglers $\boldsymbol{K}_{\mathrm{x}}$ im Regelgesetz

$$\boldsymbol{u} = \boldsymbol{K}_{\mathrm{x}} \boldsymbol{x}\,, \tag{6}$$

ergeben sich aus der Lösung der Matrix-Riccati-Differentialgleichung

$$\dot{\boldsymbol{K}} = \boldsymbol{K}\boldsymbol{A} + \boldsymbol{A}^T\boldsymbol{K} - \boldsymbol{K}\boldsymbol{B}\boldsymbol{Q}_{\mathrm{u}}^{-1}\boldsymbol{B}^T\boldsymbol{K} + \boldsymbol{Q}_{\mathrm{x}}\,, \tag{7}$$

über die Beziehung

$$\boldsymbol{K}_{\mathrm{x}} = -\boldsymbol{Q}_{\mathrm{u}}^{-1}\boldsymbol{B}^T\boldsymbol{K}\,. \tag{8}$$

Die Ausnutzung der in der Wahl geeigneter Bewertungsmatrizen $\boldsymbol{Q}_{\mathrm{x}}$ und $\boldsymbol{Q}_{\mathrm{u}}$ bestehenden Freiheitsgrade zur Berücksichtigung anwendungsspezifischer Forderungen ist ebenfalls möglich [5]. Bereitet die numerische Behandlung des Entwurfsproblems bei Modellen, die zur Regelung von Elektroenergieerzeugungsanlagen erforderlich sind (bis zu 30 Zustandsgrößen und bis zu 10 Steuergrößen), keine Schwierigkeiten, so läßt sich das Problem der gerätetechnischen Umsetzung derartiger Regelalgorithmen am zu automatisierenden Prozeß mit Hilfe von Prozeß- und Mikrorechnern offensichtlich ebenfalls ohne nennenswerte Schwierigkeiten beherrschen [2] und [6]. Trotzdem sind hierzu zwei Probleme zu lösen, die sich aus der Nichtverfügbarkeit sämtlicher Zustandsvariablen durch Messung ergeben:

1. Es muß ein Beobachter entworfen werden, der den gesamten Zustandsvektor für das Regelgesetz bereitstellt. Das bedeutet Mehraufwand für den Entwurfsprozeß.
2. Der Beobachter muß gerätetechnisch implementiert werden. Das verlangt Bereitstellung von Speicherplatz und Rechenzeit im Automatisierungssystem (bei Rechnereinsatz) oder zusätzliche Bausteine.

Zweifellos sind aus Anwendersicht solche Regelalgorithmen die günstigsten, die bei gleicher systemtheoretischer Güte die geringsten Forderungen an die Automatisierungsanlage stellen. Hinsichtlich optimaler Regelalgorithmen, die im Zeitbereich arbeiten, wären das optimale Ausgangsgrößenregelungen (optimal output-feedback).
Bei dieser Art der Regelung mit dem Regelgesetz

$$\boldsymbol{u} = \boldsymbol{K}_{\mathrm{y}}\boldsymbol{y} \tag{9}$$

verringert sich die Dimension der Reglermatrix $\boldsymbol{K}_{\mathrm{x}}$ in dem Maße, wie die Dimension von $\boldsymbol{y}$ gegenüber der von $\boldsymbol{x}$ sinkt (d. h. $r < n$ ist). Der Beobachterentwurf entfällt, da alle $\boldsymbol{y}$ als meßbar vorausgesetzt werden können. Wird außerdem das Prozeßmodell durch theoretische Prozeßanalyse gewonnen, kann $\boldsymbol{y}$ bereits als die Menge der meßbaren Zustandsvariablen leicht im Ansatz bei der Modellbildung berücksichtigt werden [4].
Ziel des Beitrages ist es, die sich beim Entwurf optimaler Ausgangsregler ergebenden systemtheoretischen Änderungen des Entwurfsgedankens darzustellen sowie einen Lösungsweg für die numerischen Probleme vorzuschlagen und die damit erzielten Entwurfsergebnisse für ein Dampferzeugermodell mit $n = 20$ (bzw. 25 bei Integralanteilen in der Regelung), $r = 9$ (bzw. 14) und $m = 5$ vorzustellen.

1. Optimale Ausgangsgrößenregelung

Wenn die Zustandsregelung (6) durch die Ausgangsregelung (9) ersetzt wird, ergibt sich für das Funktional (3) nach [7]

$$I_{\mathrm{x}} = \boldsymbol{x}^T(0)\left[\int_0^\infty \boldsymbol{\Phi}^T(t,0)\,(\boldsymbol{Q}_{\mathrm{x}} + \boldsymbol{C}^T\boldsymbol{K}_{\mathrm{y}}^T\boldsymbol{Q}_{\mathrm{u}}\boldsymbol{K}_{\mathrm{y}}\boldsymbol{C})\,\boldsymbol{\Phi}(t,0)\,\mathrm{d}t\right]\boldsymbol{x}(0) \tag{10}$$

mit

$$\boldsymbol{\Phi}(t,0) = \exp\,(\boldsymbol{A} + \boldsymbol{B}\boldsymbol{K}_{\mathrm{y}}\boldsymbol{C})\,t\,.$$

Damit wird deutlich, daß bei der Benutzung des Gütekriteriums (3) die optimalen Reglerparameter vom Anfangszustand $\boldsymbol{x}(0)$ abhängen werden. Um diese direkte Abhängigkeit von nur einer Kombination der Anfangszustandsgrößen zu beseitigen und das Regelgesetz optimal für einen ganzen Satz der Anfangszustände zu machen, werden diese als Zufallsgrößen mit den Eigenschaften

$$\left.\begin{aligned} E\{\boldsymbol{x}(0)\} &= \boldsymbol{0}\,,\\ E\{\boldsymbol{x}(0)\,\boldsymbol{x}^T(0)\} &= \boldsymbol{X}_0 \end{aligned}\right\} \tag{11}$$

angenommen. Für $\boldsymbol{X}_0 = \boldsymbol{I}$ sind sie gleichförmig verteilt. Definiert man nun $I_{\mathrm{y}} = E\{I_{\mathrm{x}}\}$

$$I_{\mathrm{y}} = \mathrm{sp}\left\{\int_0^\infty [\boldsymbol{\Phi}^T(t,0)\,(\boldsymbol{Q}_{\mathrm{x}} + \boldsymbol{C}^T\boldsymbol{K}_{\mathrm{y}}^T\boldsymbol{Q}_{\mathrm{u}}\boldsymbol{K}_{\mathrm{y}}\boldsymbol{C})\,\boldsymbol{\Phi}(t,0)]\,\mathrm{d}t\right\}, \tag{12}$$

so ist das modifizierte Gütekriterium unabhängig vom Anfangszustand. Die damit erzeugten optimalen Reglerparameter stellen gemittelte optimale Parameter dar, und das Optimierungsproblem kann wieder deterministisch behandelt werden.
In [8] wird gezeigt, daß die Reglermatrix $\boldsymbol{K}_{\mathrm{y}}$, die das modifizierte Gütekriterium optimal erfüllt, als Lösung des nichtlinearen Gleichungssystems (13) bis (16)

$$\boldsymbol{K}_{\mathrm{y}} = -\boldsymbol{Q}_{\mathrm{u}}^{-1}\boldsymbol{B}^T\boldsymbol{K}\boldsymbol{L}\boldsymbol{C}^T(\boldsymbol{C}\boldsymbol{L}\boldsymbol{C}^T)^{-1}\,, \tag{13}$$

$$\boldsymbol{K} = \int_0^\infty \boldsymbol{\Phi}^T(t,0)\,[\boldsymbol{Q}_{\mathrm{x}} + \boldsymbol{C}^T\boldsymbol{K}_{\mathrm{y}}^T\boldsymbol{Q}_{\mathrm{u}}\boldsymbol{K}_{\mathrm{y}}\boldsymbol{C}]\,\boldsymbol{\Phi}(t,0)\,\mathrm{d}t\,, \tag{14}$$

$$\boldsymbol{L} = \int_0^\infty \boldsymbol{\Phi}(t,0)\,\boldsymbol{X}_0\boldsymbol{\Phi}^T(t,0)\,\mathrm{d}t\,, \tag{15}$$

mit

$$\boldsymbol{\Phi}(t,0) = \exp\,(\boldsymbol{A} + \boldsymbol{B}\boldsymbol{K}_{\mathrm{y}}\boldsymbol{C})\,t \tag{16}$$

gefunden werden kann, vorausgesetzt, das geschlossene System $(\boldsymbol{A} + \boldsymbol{B}\boldsymbol{K}_{\mathrm{y}}\boldsymbol{C})$ ist stabil. Ist außerdem $\boldsymbol{X}_0$ positiv definit, dann erfüllen nach [8] die optimalen Matrizen $\boldsymbol{K}_{\mathrm{y}}$, $\boldsymbol{K}$ und $\boldsymbol{L}$ die Gln.

[1]) Mitteilung aus dem VEB Kombinat Kraftwerksanlagenbau, Stammbetrieb, Direktorat Projektierung, Berlin.

(17) bis (20)

$$K_y = -Q_u^{-1}B^T KLC^T(CLC^T)^{-1}, \tag{17}$$

$$0 = K\bar{A} + \bar{A}^T K + Q_x + C^T K_y^T Q_u K_y C, \tag{18}$$

$$0 = L\bar{A}^T + \bar{A}L + X_0, \tag{19}$$

mit

$$\bar{A} = A + BK_y C, \tag{20}$$

wobei die Lösung K positiv semidefinit und L positiv definit ist.

Leider sind durch diese Beziehungen nur die notwendigen Bedingungen für die Existenz der optimalen Lösung erfüllt, d. h., es können durchaus Lösungen des Systems (17) bis (20) existieren, die nicht im globalen Sinne optimal sind.

2. Numerische Lösung des Entwurfsproblems

Das Matrix-Gleichungssystem (17) bis (20) zur Bestimmung des optimalen Ausgangsgrößenreglers K_y ist hochgradig komplex und nichtlinear. Die in Gl. (17) benötigten „Zwischenmatrizen" K und L werden zwar durch Gleichungen bestimmt, die die Ljapunovsche Form aufweisen, hängen aber vom Entwurfsergebnis K_y selbst ab. Deshalb ist in den vergangenen Jahren eine Vielzahl von iterativ arbeitenden Algorithmen entwickelt worden, die auf verschiedenen Wegen K_y bestimmen [7] bis [10].

Die in [7] und [9] vorgeschlagenen Lösungsmethoden haben sich bei der Anwendung auf ein Problem mit 18 Zustandsgrößen und 9 Ausgängen [10] als nicht zum Ziel führend herausgestellt. Als Gründe hierfür werden in [10] angeführt:

1. Als Startwert K_0 eignet sich nicht die Lösung der Riccati-Gleichung, d. h. die Lösung des Zustandsregelungsproblems, wenn $r \ll n$.
2. Gleichungen (18) und (19) dürfen nicht als lineares System gelöst werden, wie in [7] und [9] vorgeschlagen.

Deshalb wird in [10] die Idee unterbreitet und erfolgreich angewendet, die Dimension des Ausgangsvektors durch eine geeignete Transformation auf n zu erweitern und dann stufenweise bis auf r zu reduzieren. Auf jeder Stufe wird der optimale Tripel $\{K_y, K, L\}$ bestimmt und als Startlösung für die nächste Stufe benutzt.

Somit wird das Gesamtproblem als Folge von $(n - r + 1)$ Optimalproblemen gelöst. Auf jeder Stufe wird in [10] das System (17) bis (20) explizit nichtlinear berechnet.

Mit dieser Vorgehensweise wird die optimale Lösung zwar gefunden, jedoch ist der numerische Aufwand wegen des nichtlinearen Problems auf jeder Stufe sehr groß.

Es scheint vorteilhaft zu sein, den Gedanken der stufenweisen Reduktion des „erweiterten" Ausgangsvektors mit der quasilinearen Behandlung des Problems auf jeder Stufe zu verbinden. Die relativ sanfte Reduktion des Ausgangsvektors liefert gute Startlösungen für das Optimierungsproblem der nächsten Stufe, während die lineare Behandlung den Einsatz rechentechnisch effektiver Algorithmen zur Lösung der Ljapunov-Gleichung erlaubt [11] und [12].

Sollte mit dem ersten Durchlauf der Rechnung auf jeder Stufe keine ausreichende Konvergenz an die optimalen Matrizen $\{K_y, K, L\}$ erreicht sein, kann mit den neuen Werten nochmals das Problem linear gelöst werden. Weil aber die Dimension des Ausgangsvektors jeweils nur gering geändert wird, stellen die Matrizen der vorhergehenden Stufe gute Startlösungen dar und machen die Konvergenz des Verfahrens recht wahrscheinlich. Bei allen untersuchten Problemen der weiter unten angeführten Systemklasse wurde sie mühelos erreicht, und Iterationen auf einer „Stufe" waren nur in vereinzelten Ausnahmefällen erforderlich.

Der vorgeschlagene Algorithmus gestaltet sich wie folgt:

1. Schritt:

1.1. Umordnung des Zustandsvektors, so daß

$$x = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} \tag{21}$$

x_1 meßbare Zustandsgrößen;
x_2 nichtmeßbare Zustandsgrößen

1.2. Anschließend gegebenenfalls Durchführung einer Transformation, daß

$$C = [I_{(r)} \vdots 0] \tag{22}$$

entsteht (s. [10]).

1.3. Vorgabe von Abbruchschranken ε_1, ε_2, ε_3 (s. 3. Schritt.).

2. Schritt:

2.1. Auffüllen von C: $C = I_{(n)}$

2.2. Bestimmung der Startmatrizen $\{K_0, K_{y0}\}$

K_0 : $\dot{K} = KA + A^T K + Q_x - KBQ_u^{-1}B^T K$ (Riccati-Gleichung)

K_{y0} : $K_y = -Q_u^{-1}B^T K$ (Zustandsregler)

3. Schritt: Übergang zur „Stufe" $(n - i)$, $i = 1 \ldots (n - r)$

3.1. Vorgabe des Starttripels $\{K_0, L_0, K_{y0}\}$ als Ergebnis der vorherigen Stufe (L_0 entfällt bei der ersten „Reduktionsstufe")

3.2. Reduktion einer nichtmeßbaren Größe im Ausgangsvektor und entsprechende Veränderung der Ausgangsmatrix C

3.3. Berechnung von K_1
K_1: Lösung von Gl. (18) mit K_{y0} und Gl. (20) (Ljapunov-Gleichung)

3.4. K_{y1}: Lösung von Gl. (17) mit K_1 und L_0

3.5. $\delta_1 = ||K_{y1} - K_{y0}||$
Wenn $\delta_1 > \varepsilon_1$, dann Rücksprung zu 3.3. mit K_{y1}

3.6. Berechnung von L_1
L_1: Lösung von Gl. (19) mit K_{y1} und Gl. (20) (Ljapunov-Gleichung)

3.7. K_{y2}: Lösung von Gl. (17) mit K_1 und L_1

3.8. $\delta_2 = ||K_{y2} - K_{y1}||$
Wenn $\delta_2 > \varepsilon_2$, dann Rücksprung zu 3.6. mit K_{y2}.

3.9. K_2: Lösung von Gl. (18) mit K_{y2} und Gl. (20) (Ljapunov-Gleichung)

3.10. K_y: Lösung von Gl. (17) mit K_2 und L_1.

3.11. $\delta_3 = ||K_y - K_{y2}||$
Wenn $\delta_3 > \varepsilon_3$, dann Rücksprung zu 3.3 mit K_y und L_1.

Tafel 1. Zustandsgrößen (X), Ausgangsgrößen (Y) und Eingangsgrößen (U) des verwendeten Dampferzeugermodells

$X1$	$= Y1$	Dampfdichte nach HD4
$X2$	$= Y2$	Dampfenthalpie nach HD4
$X3, X4, X5$		Dampfenthalpien im HD4
$X6$	$= Y3$	Dampfenthalpie nach HD3
$X7, X8, X9$		Dampfenthalpien im HD3
$X10$	$= Y4$	Dampfenthalpie nach HD2
$X11$		Dampfenthalpien im HD2
$X12$	$= Y5$	Dampfenthalpie nach HD1
$X13, X14$		Dampfenthalpien im HD1
$X15$	$= Y6$	Wasservolumen im Separator
$X16$	$= Y7$	Dampfdichte im Separator
$X17, X19$		Wasserenthalpien im Economizer
$X18$	$= Y8$	Wasserenthalpie nach dem Economizer
$X20$	$= Y9$	Rohrwandtemperatur des Verdampfers
$X21$	$= Y10$	$= \int (X1)\, dt$
$X22$	$= Y11$	$= \int (X2)\, dt$
$X23$	$= Y12$	$= \int (X6)\, dt$
$X24$	$= Y13$	$= \int (X10)\, dt$
$X25$	$= Y14$	$= \int (X15)\, dt$
$U1$		Einspritzwasserstrom (3. Einspritzung)
$U2$		Einspritzwasserstrom (2. Einspritzung)
$U3$		Einspritzwasserstrom (1. Einspritzung)
$U4$		Brennstoffmassenstrom
$U5$		Speisewassermassenstrom
$U6$		unterer Heizwert (H_u) des Brennstoffes

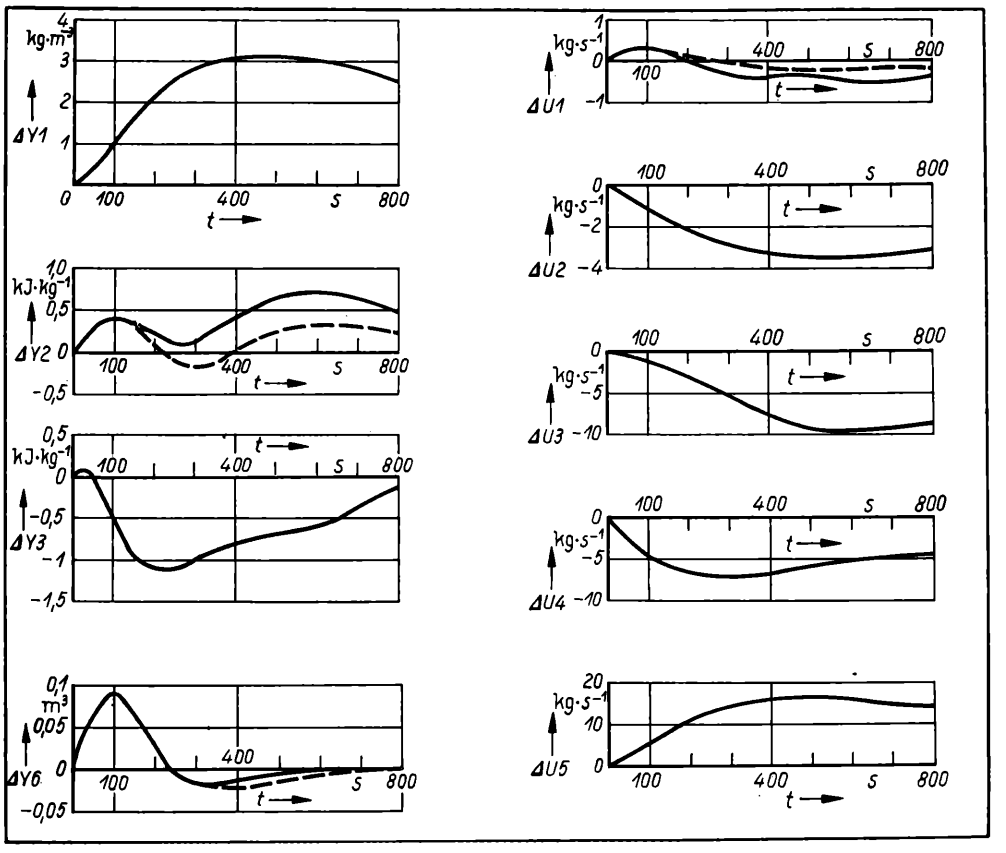


Bild 1. Verlauf der Steuer- und Ausgangsgrößen des optimal ausgangs- (———) **und zustandsgeregelten** (— — —) **Systems nach einer Sprungstörung**
$U6 = +419\ \mathrm{kJ \cdot kg^{-1}}$; Regelung mit I-Anteilen

Damit sind auf jeder Stufe mindestens drei Ljapunov-Gleichungen zu lösen.

Wegen der relativ geringen Änderungen in den Matrizen kommt man aber mit wenigen Lösungsschritten aus. Es empfiehlt sich, die Abbruchschranken nicht übertrieben fein zu wählen, um den Rechenaufwand nicht unnötig zu vergrößern. Sollte auf einer Berechnungsstufe trotzdem keine Konvergenz erzielt werden, so erweist sich die stufenweise Berechnung des Ausgangsreglers auch insofern als vorteilhaft, daß nicht der gesamte Entwurfsprozeß mit anderen Parametern wiederholt werden muß. Vielmehr können die optimalen Ergebnisse konvergierender Entwurfsstufen benutzt werden, um mit veränderten Genauigkeitsschranken die Rechnung fortzusetzen.

3. Entwurf optimaler Ausgangsgrößenregler für einen Dampferzeuger

Die beschriebene Berechnungsmethode wurde benutzt, um optimale Ausgangsregler für einen fossil beheizten Dampferzeuger zu entwerfen.

Die Anlage ist in [13] und ausführlich in [4] vorgestellt worden. Ebenso sind in [4] die verschiedenen Prozeßmodelle angegeben, mit denen die Untersuchungen vorgenommen worden sind. Verwendet wurden die am Lastpunkt 85% durch numerische Linearisierung aus einem nichtlinearen Prozeßmodell gewonnenen Systemmatrizen $\boldsymbol{A}$ und $\boldsymbol{B}$. Tafel 1 zeigt die physikalische Bedeutung der einzelnen Zustands- und Eingangsgrößen. Bei der Verwendung von I-Anteilen im Regelgesetz wurde das Prozeßmodell in bekannter Weise erweitert ($X21$ bis $X25$). Die Zustandsgrößen, die sich direkt oder durch elementare Umrechnung aus an der Anlage gemessenen Größen ergeben, sind als Ausgangsgrößen definiert worden. Die 6 Eingangsgrößen setzen sich aus den 5 Steuergrößen ($U1$ bis $U5$) und der bei diesen Untersuchungen verwendeten wesentlichen Störgröße „Heizwertschwankung" ($U6$) zusammen.

Es wurden Regler ohne I-Anteile (Modell 20. Ordnung) und mit I-Anteilen (erweitertes Modell 25. Ordnung) entworfen. Tafel 2 zeigt die errechneten (transponierten) optimalen Ausgangsgrößenregler (9. bzw. 14. Ordnung). Als Bewertungsmatrizen dienten $\boldsymbol{Q}_y$ = diag (0.5 0.15 0.01 0.01 80. 0.1 0.1 0.1 ⋮ 8.—05 1.—04

Tafel 2. Transponierte optimale Ausgangsreglermatrizen (K_y^T) ohne I-Anteile (9. Ordnung) und mit I-Anteilen (14. Ordnung)

	Regler ohne I-Anteile					Regler mit I-Anteilen				
Y/U	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
1	2.6−01	−1.3−01	−6.6−02	−2.1−01	−2.4	7.7−02	−1.1−01	−5.7−02	−2.1−01	−7.5−01
2	2.1−01	−2. −02	3.8−02	−1.3−01	−4.8−01	6.7−01	1. −01	4.4−02	4.2−03	−2. −01
3	2.3−01	1. −01	−3.3−03	−2. −01	−8.7−03	3.5−01	2.1−01	1.3−01	−3. −02	−4.2−02
4	−6. −02	2.3−01	3.2−01	−6.6−02	3.1−02	7.4−02	1.5−01	4.3−01	−1.2−01	6.3−03
5	6.9−02	4.8−02	3.5−01	4.5−01	1.4−02	−4.1−02	2.1−03	4.4−01	−2.5−01	−3.1−03
6	−2.2−02	3.8−02	−3. −02	−5.8−01	−2.4+01	5.5−01	−2.1−02	−2.2−02	2.9−01	−9.9
7	−1.4−01	−4.2−02	−2. −02	−1.3−01	1.1	−5.2−02	−2. −02	−5.7−02	−1.8−01	7.3−01
8	1. −01	−6.8−02	−6.2−02	−1.	7.4−02	−1.3−01	−9.9−02	−6.5−02	−8. −01	6.5−03
9	1.8	−9.7−01	−7. −01	−5.5	2.7	2.4−01	−1.	−7.3−01	−5.	3.4
10						−3.4−03	−9.5−04	−6.1−04	−5.6−03	9.9−06
11						6. −03	8.8−04	3.1−04	2.7−04	1.1−03
12						−2.4−03	2. −03	6. −04	−1. −03	−2.2−04
13						2.4−04	−7.1−04	4.8−03	−1.7−04	1.3−04
14						4.2−03	−3.2−04	2.7−05	−6.2−03	−1.1−01

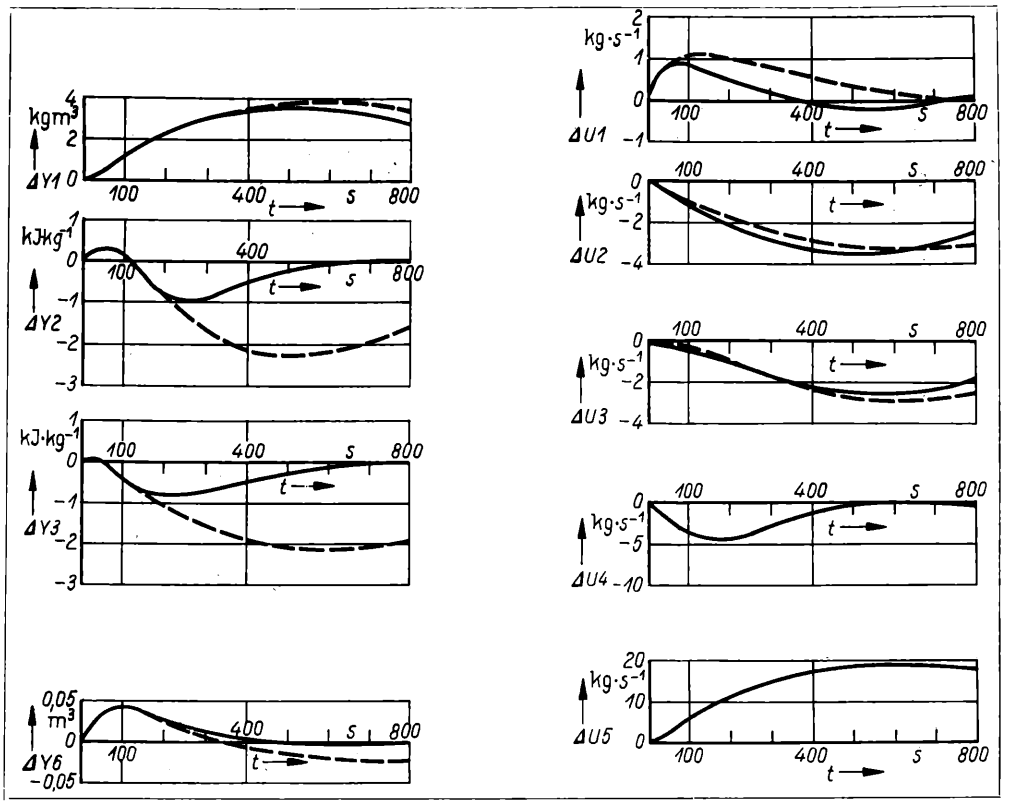


Bild 2. Verlauf der Steuer- und Ausgangsgrößen des optimal ausgangs- (———) bzw. zustandsgeregelten (— — —) Systems nach einer Sprungstörung

$\Delta U6 = +419\ \mathrm{kJ \cdot kg^{-1}}$; Regelung ohne I-Anteile

1.—04 5.—04 9.—02) und $\boldsymbol{Q}_u$ = diag (6.8.8.3.7.) für die Regelung mit I-Anteilen bzw. $\boldsymbol{Q}_y$ = diag (0.1 0.2 0.3 0.2 0.1 30. 0.2 0.1 0.5), $\boldsymbol{Q}_u$ = diag (0.2 0.4 0.3 0.09 0.05) für den Regelungsentwurf ohne I-Anteile.

Zur Gewährleistung der Definitheitsforderung an die Bewertungsmatrix $\boldsymbol{Q}_x$ wurden in $\boldsymbol{Q}_y$ nicht berücksichtigte Zustandsgrößen mit 10^{-6} bewertet.

Die Matrix $\boldsymbol{X}_0$ wurde als Einheitsmatrix belegt. Die Bilder 1 und 2 zeigen das Verhalten der Steuergrößen und der wichtigsten 4 Ausgangsgrößen des optimal geregelten Systems nach einer sprungförmigen Heizwertstörung $U6 = +419\ \mathrm{kJ \cdot kg^{-1}}$. Zu Vergleichszwecken wurden auch die Systemantworten bei optimaler Zustandsregelung angegeben (unterbrochene Linien, wenn Differenzen zur Ausgangsregelung auftreten).

Bei Verwendung von I-Anteilen im Regler (Bild 1) sind nur relativ geringe Abweichungen beider Kurvenverläufe aufgetreten. $Y2$ wird mit etwas größeren Regelabweichungen geregelt, während $Y6$ sogar noch geringfügig besseres Verhalten aufweist. Die Quelle dieses veränderten Systemverhaltens ist in der geringfügig geänderten Ansteuerung von $U1$ zu sehen. Die kleinen Differenzen dürften nicht allein dadurch zu erklären sein, daß sowohl Zustands- als auch Ausgangsgrößenregler nach denselben Bewertungsmatrizen $\boldsymbol{Q}_x$ und $\boldsymbol{Q}_u$ entworfen worden sind; und auch die besonders starke Bewertung von $Y6$ in beiden Kriterien ist nicht der entscheidende Grund hierfür, weil sich damit nicht die Unterschiede in den Abweichungen von Zustands- und Ausgangsregelergebnissen zwischen Bild 1 und Bild 2 erklären lassen. Offensichtlich bewirken die I-Anteile die größere Übereinstimmung der Kurven.

Die im Bild 2 dargestellten Regelergebnisse bei Verzicht auf I-Anteile sprechen deutlich für den Ausgangsregler. Alle Ausgangsgrößen werden mehr oder weniger besser geregelt. Selbstverständlich muß jedoch beachtet werden, daß auch die Zustandsregelung sehr gute Regelergebnisse liefert, so daß diese Verbesserung zu relativieren ist. Die Ergebnisse belegen jedoch, daß mit Hilfe des vorgeschlagenen Rechenweges die Ermittlung optimaler Ausgangsgrößenregler für Prozeßmodelle des vorliegenden Umfanges nicht nur möglich ist, sondern daß auch beim Einsatz dieser Regelgesetze zur Regelung von Dampferzeugern der vorliegenden Art keine Genauigkeitsverluste gegenüber der Verwendung optimaler Zustandsregler erwartet werden dürfen. Damit ist es möglich, den Aufwand zur gerätetechnischen Realisierung einer Mehrgrößenregelung zu vereinfachen, wenn man die hier dargelegten Untersuchungen vornimmt.

Literatur

[1] *Mc Donald, I. P.; Kwatny, H. G.:* Design and Analysis of Boiler-Turbine-Generator Controls Using Optimal Linear Regulator Theory. IEEE Trans. Autom. Contr. AC-18 (1973) pp. 202–208.

[2] *Dettinger, R.:* Entwurf einer optimalen Regelung für komplizierte Mehrgrößensysteme und Erprobung am Beispiel eines Dampferzeugers. Dissertation, TU Stuttgart 1976.

[3] *Tysso, A.; Brembo, J. Chr.; Lund, K.:* The Design of a Multivariable Control System for a Ship Boiler. Automatica (IFAC), Vol. 12 (1976) pp. 211–214.

[4] *Röder, H.-W.; Rösel, G.-S.:* Modellbildung und Entwurf von Mehrgrößenregelungen für Dampferzeuger. Dissertation 1979.

[5] *Röder, H.-W.; Rösel, G.-S.:* Entwurf optimaler Regelungen für Dampferzeuger mit Hilfe einer Strategie zur Festlegung der Bewertungsmatrizen. msr 22 (1979) H. 4, S. 207–212.

[6] *Tysso, A.; Brembo, J. Chr.:* Installation and Operation of a Multivariable Ship-Boiler Control System. Automatica (IFAC) 14 (1978) pp. 213–221.

[7] *Levine, W. S.; Athans, M.:* On the Determination of the Optimal Constant Output Feedback Gains for linear Multivariable Systems. IEEE Trans. Autom. Contr. AC-15 (1970) pp. 44–48.

[8] *Levine, W. S.:* Optimal outpout feedback controllers for linear systems. Ph. D. dissertation, M. I. T. Cambridge 1969.

[9] *Levine, W. S.; Athans. M.; Jonson, T. L.:* Optimal limited state variable feedback controllers for linear systems. IEEE Trans. Autom. Contr. Vol. AC-16 (1971) pp. 785–792.

[10] *Bingulac, S. P.; Čalović, M. S.; Ćuk, N. M.:* The compensation of immeasurable disturbances via optimum output feedback. Int. J. Control, Vol. 19 (1974) pp. 1005–1020.

[11] *Smith, R. A.:* Matrix Equation $\boldsymbol{XA} + \boldsymbol{BX} = \boldsymbol{C}$. SIAM Journ. Appl. Math. 16 (1968) pp. 198–201.

[12] *Koupan, A.; Müller, P. C.:* Zur numerischen Lösung der Ljapunovschen Matrizengleichung $\boldsymbol{A}^T\boldsymbol{P} + \boldsymbol{PA} + \boldsymbol{Q} = \boldsymbol{0}$. Regelungstechnik 24 (1976) S. 167–170.

[13] *Röder, H.-W.; Rösel, G.-S.:* Entwurf einer optimalen Regelung für das Lastwechselverhalten eines Dampferzeugers und Überprüfung durch nichtlineare Simulation. msr 24 (1981) H. 8, S. 442–447.

msr 7480

Dipl.-Ing. Dr. *R. Noisser*, Wien[1])

Polvorgabe unter Berücksichtigung der Stabilitätsreserve und der Verstärkung des Meßrauschens

IA 2.3.1.0.

0. Einleitung

Bei einer Regelung durch Zustandsregler mit Beobachter lassen sich die Pole des Regelsystems (PR) beliebig vorgeben [1] und [2]. Der Zustandsregler mit Beobachter stellt dabei einen speziellen Regler höherer Ordnung dar [3] und [4]. Die PR setzen sich aus Polen zusammen, die für das Führungsverhalten verantwortlich sind (PF), und aus den sogenannten Beobachterpolen (PB) [1] und [5], die darauf keinen Einfluß haben. Für die Wahl der PF gibt es verschiedene Verfahren [6] bis [8], die meist davon ausgehen, daß bei Sollwertsprüngen die zugehörige Stellgröße einen vorgegebenen Wert nicht überschreiten soll. Die PB sind laut einer Faustregel [5] etwas weiter links als die Streckenpole in die s-Ebene zu legen, oder man kann sie — wie später gezeigt wird — gezielt so wählen, daß man ein günstiges Störungsverhalten erhält.

Neben dem Führungs- und Störungsverhalten sind noch die Stabilitätsreserve [9] und [10] und die Verstärkung des Meßrauschens [1] und [11] für ein Regelsystem von großer Bedeutung. Die Stabilitätsreserve gibt im wesentlichen an, wie weit das Regelsystem von der Stabilitätsgrenze entfernt ist. Unter der Verstärkung des Meßrauschens (V_M) ist die Verstärkung des praktisch immer vorhandenen Meßrauschens hinsichtlich der Stellgröße zu verstehen. Die V_M darf nicht zu groß sein, da sonst das Stellglied übersteuert wird und kein ordnungsgemäßer Betrieb des Regelsystems möglich ist [1] und [11].

Geht der Entwurf des Zustandsreglers von vorgegebenen PR aus, so bezeichnet man dies i. allg. als Entwurf durch Polvorgabe oder kurz als Polvorgabe [1] und [2]. Hauptproblem dabei ist die geeignete Wahl der PR. Die dafür bekannten Verfahren [2] [6] bis [8] gehen auf die Stabilitätsreserve und die V_M nicht ein. Im Rahmen dieses Beitrages wird gezeigt, wie Forderungen hinsichtlich dieser Regelkreiseigenschaften bei der Polvorgabe berücksichtigt werden können. Es wird davon ausgegangen, daß man die Verfahren zur Polvorgabe meist als Parameteroptimierungsproblem mit Nebenbedingungen auffassen kann. (Beispielsweise lassen sich die PF mit Hilfe eines Parameteroptimierungsverfahrens so wählen, daß für eine sprungförmige Sollwertänderung die Gütefunktion $I = \int_0^\infty x_W^2 \, dt$ — x_W Regelabweichung — minimal wird unter der Nebenbedingung, daß die auftretende Stellgröße einen vorgegebenen Wert nicht überschreiten soll.) Grundsätzlich wird in [12] gezeigt, wie man beim Entwurf eines beliebigen Reglers durch Parameteroptimierung verschiedenste an das Regelsystem gestellte Forderungen berücksichtigen kann. Hier wird dargelegt, wie sich speziell bei der Polvorgabe Forderungen hinsichtlich Stabilitätsreserve und V_M in Form von Nebenbedingungen bei der Polvorgabe durch Parameteroptimierung berücksichtigen lassen. Da diese Nebenbedingungen im Frequenzbereich formuliert sind, erfolgt auch der Entwurf des Zustandsreglers mit Beobachter nicht wie meist [1] und [2] im Zeit-, sondern im Frequenzbereich [3] und [4].

Im weiteren wird gezeigt, wie sich neben einem angestrebten optimalen Führungsverhalten ein günstiges Störungsverhalten erreichen läßt, und wie vorzugehen ist, wenn nur ein optimales Störungsverhalten das Entwurfsziel ist.

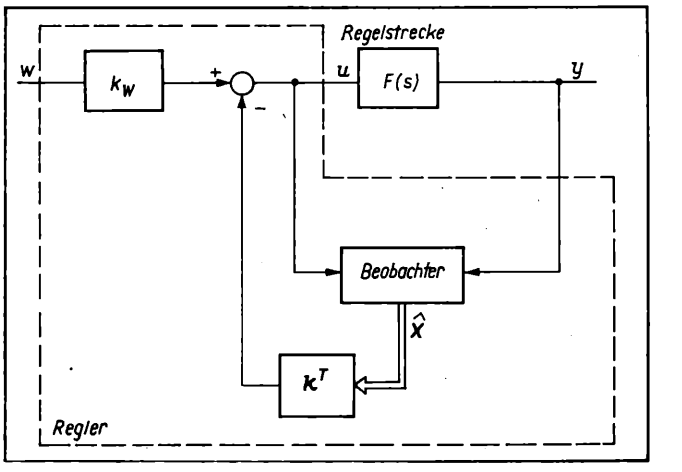


Bild 1. Regelung mit Zustandsvektorrückführung und Beobachter

Bei vorliegender Parameteroptimierung sind oftmals — für jeweils verschiedene Parameterwerte bzw. PR — Gütefunktionen und Nebenbedingungen auszuwerten.

Die Gütefunktionen und die Nebenbedingungen sind daher so formuliert bzw. vereinfacht, daß deren Auswertung möglichst wenig Rechenzeit erfordert. Außerdem wird gezeigt, wie sich durch die Wahl spezieller Gütefunktionen und durch einschränkende Annahmen hinsichtlich der PR die Anzahl der zu optimierenden Parameter und damit die erforderliche Rechenzeit wesentlich verringern läßt.

Abschließend wird anhand eines Beispiels die Brauchbarkeit der vorgestellten Verfahren demonstriert.

1. Grundsätzliches

Die folgenden Betrachtungen beschränken sich auf lineare Regelstrecken mit einem Eingang und einem Ausgang.

Die Strecke sei durch folgende Übertragungsfunktion

$$F(s) = \frac{Y(s)}{U(s)} = \frac{Z(s)}{N(s)} = \frac{c_0 + c_1 s + \ldots + c_m s^m}{d_0 + d_1 s + \ldots + d_{n-1} s^{n-1} + s^n} \qquad m \leqq n - 1 \qquad (1)$$

gegeben, und die entsprechende Zustandsraumdarstellung laute

$$\left.\begin{aligned} \dot{\boldsymbol{x}} &= \boldsymbol{A}\boldsymbol{x} + \boldsymbol{b}u \,, \\ y &= \boldsymbol{c}^T\boldsymbol{x} \,. \end{aligned}\right\} \qquad (2)$$

Außerdem sollen $Z(s)$ und $N(s)$ keine gemeinsamen Nullstellen aufweisen; die Regelstrecke ist dann vollständig steuer- und beobachtbar [1]. Bild 1 zeigt das bekannte Prinzip der Zustandsregelung [1] [2] und [4]. Der Beobachter — ein dynamisches System, dessen Pole die schon erwähnten PB sind — stellt einen Schätzwert $\hat{\boldsymbol{x}}$ für den tatsächlichen Zustandsvektor $\boldsymbol{x}$ zur Verfügung, und für die Stellgröße folgt aus Bild 1 das bekannte Regelgesetz [1] und [2]

$$u = k_w \cdot w - \boldsymbol{k}^T\hat{\boldsymbol{x}} \,. \qquad (3)$$

Durch Zusammenfassung der einzelnen Komponenten des Zustandsreglers mit Beobachter erhält man ein dynamisches System (einen Regler) mit den Eingängen $w(t)$ und $y(t)$ und dem Ausgang $u(t)$, das sich nach [3] und [4] entsprechend Bild 2 mit Hilfe geeigneter Übertragungsfunktionen darstellen läßt. Für

[1]) Mitteilung aus der Technischen Universität Wien, Institut für Elektrische Regelungstechnik.

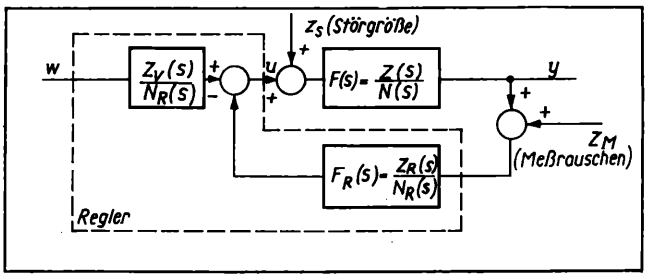


Bild 2. Zustandsregler im Frequenzbereich

diese soll allgemein

$$F_R(s) = \frac{Z_R(s)}{N_R(s)} = \frac{a_0 + a_1 s + \ldots + a_n s^n}{s(b_1 + b_2 s + \ldots + b_{n-1} s^{n-2} + s^{n-1})}, \tag{4}$$

$$Z_v(s) = P_B(s) \cdot k_v \tag{5}$$

gelten, wobei auf $P_B(s)$ und k_v im weiteren näher eingegangen wird. Diese Annahme stellt — durch den Integralanteil in $F_R(s)$ — einen sog. Zustandsregler mit Integralanteil [3] dar. Der Zustandsregler mit Integralanteil ergibt sich aus dem Prinzip der Zustandsregelung (s. Bild 1) im wesentlichen dadurch, daß man formell die Regelstrecke um einen Integralanteil erweitert [3]. Die weiteren Betrachtungen gehen stets von diesem Regler aus, da er gegenüber dem Zustandsregler ohne Integralanteil den Vorteil hat, daß auch unter Störgrößeneinfluß oder bei Parameteränderungen der Regelstrecke keine stationäre Regelabweichung auftritt. Sie lassen sich jedoch mit nur zum Teil erforderlichen unwesentlichen Änderungen auch für den Zustandsregler ohne Integralanteil anwenden.

$F_R(s)$ und $F(s)$ bilden nach Bild 2 einen „geschlossenen Regelkreis", für den

$$Z(s) \cdot Z_R(s) + N(s) \cdot N_R(s) = P_F(s) \cdot P_B(s) \tag{6}$$

gelten soll, wobei $P_F(s)$ und $P_B(s)$ beliebige Polynome n-ter Ordnung sind. Die Gl. (6) liefert unter Berücksichtigung von Gl. (4) durch Koeffizientenvergleich ein eindeutig lösbares lineares Gleichungssystem für die a_i, b_j von $F_R(s)$ [3] [4] und [21]. Dieses Gleichungssystem hat folgende Form [21]

$$\boldsymbol{M} \cdot \underbrace{\begin{bmatrix} a_n \\ \vdots \\ a_0 \\ b_{n-1} \\ \vdots \\ b_1 \end{bmatrix}}_{\boldsymbol{r}} = \boldsymbol{q} \tag{7a}$$

bzw.

$$\boldsymbol{r} = \boldsymbol{M}^{-1}\boldsymbol{q}\,. \tag{7b}$$

Die Matrix $\boldsymbol{M}$ hängt nur von den Koeffizienten der Regelstrecke ab, und der Vektor $\boldsymbol{q}$ enthält die Koeffizienten des sich aus $P_F(s) \cdot P_B(s)$ ergebenden Polynoms $2n$-ter Ordnung.

Für das Führungsverhalten folgt aus Bild 2 mit den Gln. (4) bis (6)

$$F_w(s) = \frac{Y(s)}{W(s)} = \frac{Z(s) \cdot k_v}{P_F(s)} \tag{8}$$

und mit der Bedingung $F_w(0) = 1$ und Gl. (8)

$$k_v = \frac{P_F(0)}{Z(0)}. \tag{9}$$

Die Nullstellen von $P_F(s)$ sind identisch mit den PF — wie auch Gl. (8) zeigt — und die Nullstellen von $P_B(s)$ identisch mit den PB [3]. Dies ist im weiteren zu beachten, wenn von den PF bzw. den PB die Rede ist.

Für das Störungsverhalten folgt aus Bild 2 mit

$$F_0(s) = F_R(s) \cdot F(s)\,, \tag{10}$$

$$F_Z(s) = \frac{Y(s)}{Z_s(s)} = \frac{F(s)}{1 + F_0(s)}. \tag{11}$$

Es hängt im Gegensatz zum Führungsverhalten von den PF und den PB ab, da bekanntlich die PF und die PB die Nullstellen von $1 + F_0(s)$ sind.

Wie schon eingangs erwähnt wurde, lassen sich die bekannten Verfahren zur Polvorgabe (und damit zur Wahl von $P_F(s)$ und $P_B(s)$) als Parameteroptimierungsproblem mit Nebenbedingungen auffassen. Näher wird darauf noch im Abschn. 3. eingegangen. Im folgenden wird gezeigt, wie durch geeignete Nebenbedingungen Forderungen hinsichtlich Stabilitätsreserve und V_M berücksichtigt werden können.

2. Stabilitätsreserve und Verstärkung des Meßrauschens

2.1. Stabilitätsreserve

Bei klassischen Entwurfsverfahren (z. B. Entwurf in der s-Ebene durch Wurzelortskurve [1] und [10] wird meist vorgeschlagen, die Pole des Regelsystems so zu wählen, daß sie eine gewisse Mindestdämpfung aufweisen. Man könnte daher vermuten, daß man bei der Polvorgabe eine brauchbare Stabilitätsreserve erhält, wenn die PR nur ausreichend gedämpft sind. Daß dies nicht der Fall sein muß, folgt aus [16]. Der Anschaulichkeit wegen wird dies außerdem anhand des folgenden einfachen Beispiels gezeigt.

Es gelte dafür

$$F(s) = \frac{Z(s)}{N(s)} = \frac{1 + sT}{(1 + s)^2}, \tag{12}$$

$$P_B(s) = P_F(s) = N(s)\,, \tag{13}$$

womit die PF und die PB je einen reellen Doppelpol bei -1 aufweisen.

Für $F_R(s)$ folgt aus den Gln. (6) (12) und (13)

$$F_R(s) = \frac{N(s)}{N(s) - Z(s)}. \tag{14}$$

Für den Frequenzgang $F_0(j\omega)$ erhält man unter Berücksichtigung der Gln. (10), (12) und (14) nach einigen Zwischenrechnungen

$$F_0(j\omega) = \frac{1 + j\omega T}{j\omega(2 - T) - \omega^2}. \tag{15}$$

Nimmt man weiter an, daß $T \gg 2$ ist und ein Frequenzbereich existiert, für den $\frac{1}{T} \ll \omega < 1$ gilt, dann folgt für $F_0(j\omega)$ mit Gl. (15) für diesen Frequenzbereich bei Vernachlässigung kleiner Terme

$$F_0(j\omega) = \frac{j\omega T}{-j\omega T} = -1 \left(\frac{1}{T} \ll \omega < 1\right). \tag{16}$$

Obwohl nur reelle PR angenommen wurden, befindet sich das Regelsystem — wie aus Gl. (16) hervorgeht — an der Stabilitätsgrenze.

Aus der klassischen Regelungstechnik sind vom Entwurf im Frequenzbereich der Betragsabstand r_π und der Phasenabstand φ_R (Bild 3) als Entwurfsparameter bekannt [1] und [10]. Der Entwurf durch Phasen- und Betragsabstand ist nach [10] aber nur bei einfachem Ortskurvenverlauf von $F_0(j\omega)$ zielführend. Allgemein brauchbar hinsichtlich Stabilitätsreserve ist aber die Forderung, daß $F_0(j\omega)$ nicht innerhalb einer um den Punkt -1 liegenden Kreisscheibe mit dem Radius r verläuft (Bild 3) [10]. Aus dieser Forderung folgt nachstehende Nebenbedingung für die

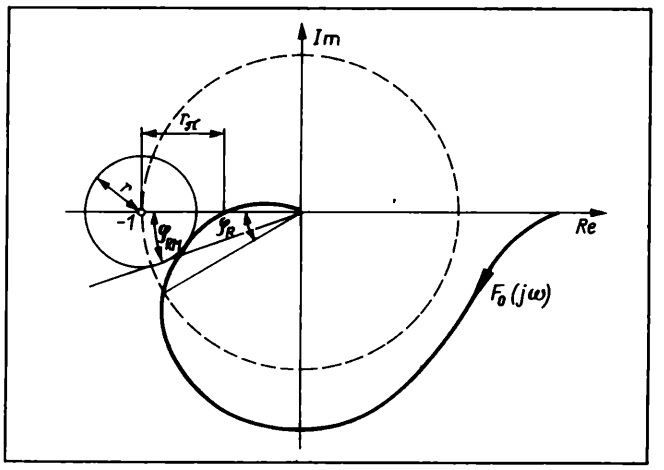


Bild 3. Beurteilung der Stabilitätsreserve
φ_R Phasenabstand, r_π Betragsabstand, r Radius der Kreisscheibe um -1

Tafel. Phasenabstand und stabiler Verstärkungsbereich in Abhängigkeit von der Stabilitätsreserve (r)

Radius r	V_{min}	V_{max}	Phasenabstand φ_{RM}
0,5	0,67	2,00	29°
0,6	0,63	2,50	35°
0,7	0,59	3,33	41°
0,8	0,56	5,00	47°

Polvorgabe:

$$|1 + F_0(j\omega)| \geqq r; \qquad 0 \leqq \omega \leqq \infty . \tag{17}$$

Zum Zusammenhang zwischen einem bestimmten r-Wert und den herkömmlichen Größen Phasenrand und Amplitudenrand ist folgendes zu sagen: Zu einem gewählten r-Wert gehört ein minimaler Phasenrand φ_{RM} (Bild 3) und ein minimaler Verstärkungsbereich innerhalb dessen das Regelsystem sicher stabil ist. Dieser Bereich ist folgendermaßen definiert: Es wird dazu angenommen, daß $F_N(s)$ der Nominalwert der Regelstrecke ist, für den der Regler entworfen wurde, und daß für die tatsächliche Regelstrecke

$$F(s) = V \cdot F_N(s) \tag{18}$$

gilt. Das Regelsystem ist dann im Bereich

$$V_{min} < V < V_{max}, \tag{19a}$$

mit

$$\left.\begin{aligned} V_{min} &= \frac{1}{1+r}, \\ V_{max} &= \frac{1}{1-r}, \end{aligned}\right\} \tag{19b}$$

sicher stabil (in der Tafel sind für mehrere r-Werte die zugehörigen φ_{RM}, V_{min} und V_{max}-Werte angeführt). φ_{RM} und der minimale Verstärkungsbereich sind untere Grenzwerte, die sich nur aus r — und damit aus der Größe des Kreises um den Punkt -1 — ergeben. Die tatsächlichen Werte folgen naturgemäß aus dem Verlauf des jeweiligen $F_0(j\omega)$.

2.2. *Verstärkung des Meßrauschens*

Für den Zusammenhang zwischen Stellgröße und Meßrauschen folgt aus Bild 2

$$F_M(s) = \frac{U(s)}{Z_M(s)} = -\frac{F_R(s)}{1 + F_0(s)}. \tag{20}$$

Nimmt man für das Meßrauschen ein Gauß-Rauschen mit der Leistungsdichte $S_{MM}(\omega)$ und dem Mittelwert 0 an, so folgt daraus für die Leistungsdichte des in der Stellgröße auftretenden Rauschanteiles [17]

$$S_{UU}(\omega) = S_{MM}(\omega) \cdot |F_M(j\omega)|^2 . \tag{21}$$

Allgemein gilt für ein Gauß-Rauschen mit der Leistungsdichte $S(\omega)$ für die Streuung

$$\sigma^2 = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} S(\omega)\, d\omega \tag{22}$$

und für die Störbreite $b = 4\sigma$, wobei b die Breite jenes Bandes ist, innerhalb dessen etwa 95% der Rauschsignalwerte liegen [17].

Nimmt man an, daß für die Verstärkung des Meßrauschens

$$V_M = \frac{b_u}{b_M} \tag{23a}$$

gelten soll, wobei b_M die Störbreite des Meßrauschens und b_u jene des entsprechenden Rauschanteiles der Stellgröße ist, so erhält man unter Berücksichtigung der Gln. (21) und (22)

$$V_M = \frac{b_u}{b_M} = \sqrt{\frac{\int_0^\infty |F_M(j\omega)|^2 \cdot S_{MM}(\omega)\, d\omega}{\int_0^\infty S_{MM}(\omega)\, d\omega}} \cdot \tag{23b}$$

Für proportionale Strecken lassen sich hinsichtlich V_M allgemeine Aussagen machen. Aus [18] folgt, daß dafür etwa

$$V_M \cdot V_S \leqq \ddot{u} \tag{24}$$

mit $\ddot{u} = 5$ bis 25 — je nach Stärke des Meßrauschens — gelten soll, wobei V_S die Stationärverstärkung der Regelstrecke ist.

Nach Wahl einer maximal zulässigen Verstärkung des Meßrauschens ($V_{M\,zul}$) — z. B. aufgrund von Gl. (24) mit $V_{M\,zul} = \frac{\ddot{u}}{V_S}$ — folgt als Nebenbedingung für die Polvorgabe

$$V_M \leqq V_{M\,zul}, \tag{25}$$

wobei V_M nach Gl. (23b) zu berechnen ist. Eine einfachere Formulierung dieser Nebenbedingung hinsichtlich ihrer Auswertung läßt sich folgendermaßen erreichen. Nimmt man an, daß $Z_M(t)$ (s. Bild 2) einen beliebigen zeitlichen Verlauf hat und $|Z_M(t)| \leqq Z_{M\,max}$ gilt, dann muß nach [19]

$$Z_{M\,max} \cdot |F_M(j\omega)| \leqq u_{max} \qquad (0 \leqq \omega \leqq \infty) \tag{26}$$

sein, wenn für die zu $Z_M(t)$ gehörende Stellgröße $|u(t)| \leqq u_{max}$ gelten soll. Die Bedingung (26) stellt nur eine notwendige Bedingung dar. Sie ist aber laut [19] in den meisten Fällen auch hinreichend, wie auch an anderer Stelle [6] bestätigt wird, und wird daher vielfach im Rahmen des Entwurfs von Reglern eingesetzt [6] und [19]. Damit ergibt sich als einfachere Nebenbedingung für die Polvorgabe

$$|F_M(j\omega)| \leqq V_{M\,zul} \qquad (0 \leqq \omega \leqq \infty) . \tag{27}$$

Diese Bedingung hat gegenüber der auf Gl. (23b) basierenden den Vorteil, daß sie deutlich einfacher auszuwerten ist und daher weniger Rechenzeit erfordert. Außerdem benötigt man für sie nicht die Leistungsdichte $S_{MM}(\omega)$ des Meßrauschens, die in der Praxis meist ohnehin nicht genau bekannt ist. Man wird diese daher meist aufgrund von Erfahrung geeignet annehmen müssen, so daß auch die auf Gl. (23b) beruhende Nebenbedingung nicht exakt ist.

Wesentlich für die Polvorgabe durch Parameteroptimierung ist, ob überhaupt PF und PB bzw. $P_F(s)$ und $P_B(s)$ existieren, für die bei vorgegebener Stabilitätsreserve und vorgegebenem $V_{M\,zul}$ die entsprechenden Nebenbedingungen erfüllbar sind. Wenn

nämlich solche Werte ($P_F(s)$, $P_B(s)$) existieren, dann ist sichergestellt, daß die von beliebigen Startparametern ausgehende Parameteroptimierung eine Lösung hat. Außerdem kann man solche Werte vorteilhaft als Startwerte für die Parameteroptimierung verwenden. (Manche Verfahren zur Parameteroptimierung benötigen sogar solche Startwerte, bei denen die Nebenbedingungen erfüllt sind [24].)

Für Regelstrecken, die keine Pole in der rechten Halbebene aufweisen, läßt sich zeigen, daß solche Werte ($P_F(s)$, $P_B(s)$) existieren, bei denen die der Stabilitätsreserve und der V_M entsprechenden Nebenbedingungen erfüllt sind. Vorerst werden minimalphasige Regelstrecken mit Ausgleich betrachtet, wobei von folgenden Annahmen ausgegangen wird:

$$P_F(s) = N(s)\,, \tag{28a}$$

$$P_B(s) = Z(s)\,(s + s_B)^{n-m}\,, \qquad s_B > 0\,. \tag{28b}$$

Unter Berücksichtigung der Gln. (1), (6) und (10) erhält man mit diesen Werten

$$F_R(j\omega) = \frac{1}{F(j\omega)} \cdot \frac{1}{\left(1 + \frac{j\omega}{s_B}\right)^{n-m} - 1}\,, \tag{29a}$$

$$F_0(j\omega) = \frac{1}{\left(1 + \frac{j\omega}{s_B}\right)^{n-m} - 1}\,. \tag{29b}$$

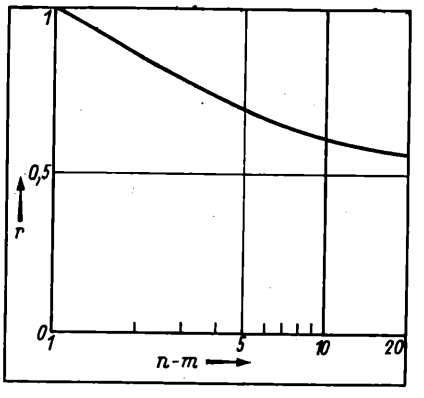


Bild 4. Stabilitätsreserve

Bild 4 zeigt die Stabilitätsreserve, die sich dafür — aufgrund von $F_0(j\omega)$ nach Gl. (29b) — ergibt. Diese dürfte für nicht zu große $(n - m)$-Werte in den meisten Fällen ausreichen. Für die V_M folgt aus den Gln. (20) und (29)

$$F_M(j\omega) = \left|\frac{1}{F(j\omega)}\right| \cdot \frac{1}{\left|\left(1 + \frac{j\omega}{s_B}\right)^{n-m}\right|}\,. \tag{30}$$

Es läßt sich damit — wie leicht nachzuweisen ist — durch genügend kleine s_B-Werte $V_M \cdot V_S \leqq \ddot{u}$ für $\ddot{u} > 1$ immer erreichen, wenn man von der Bedingung (27) und von Gl. (30) ausgeht. Für minimalphasige Strecken mit Ausgleich ist daher jede praktisch sinnvolle Forderung hinsichtlich der Verstärkung des Meßrauschens erfüllbar.

Nachstehend wird kurz angeführt, welche Stabilitätsreserve und welches V_M bei Strecken mit Integralanteil bzw. bei Strecken mit Nullstellen in der rechten Halbebene sicher erreichbar ist. Die zugehörigen Beweise werden — da sie recht umfangreich sind — aus Platzgründen und wegen der Tatsache, daß sie für das hier vorgestellte Reglerentwurfsverfahren nicht direkt erforderlich sind, nicht angegeben.

Vorerst werden die integralen Regelstrecken mit Nullstellen in der linken Halbebene betrachtet, für die

$$N(s) = s^q N_1(s)\,,$$

$$N_1(s) = e_0 + e_1 s + \ldots + e_{n-q-1} s^{n-q-1} + s^{n-q}\,, \tag{31}$$

gelten soll. Wählt man dazu

$$P_F(s) = (s + s_q)^q \cdot N_1(s)\,, \qquad s_q > 0 \tag{32}$$

und $P_B(s)$ entsprechend Gl. (28b), dann gilt bei genügend kleinen s_q-Werten für $F_0(j\omega)$ Gl. (29b) mit guter Näherung in dem für die Stabilitätsreserve maßgeblichen Frequenzbereich und man erreicht daher die im Bild 3 angeführte Stabilitätsreserve. Außerdem läßt sich durch genügend kleine s_B-Werte V_M beliebig klein machen.

Nachstehend wird auf Strecken mit Nullstellen in der rechten Halbebene eingegangen. Für deren Zähler soll

$$\left.\begin{aligned} &Z(s) = Z_l(s) \cdot Z_r(s)\,, \qquad (\text{Ordn. } (Z(s)) = m;\\ &\text{Ordn. } (Z_r(s)) = r_z) \end{aligned}\right\} \tag{33a}$$

$$Z_r(s) = \prod_{i=1}^{r_z} (s - s_{ri}) \tag{33b}$$

gelten, wobei $Z_l(s)$ nur Nullstellen in der linken und $Z_r(s)$ nur Nullstellen in der rechten Halbebene aufweisen soll. Mit der Annahme

$$P_B(s) = Z_l(s) \cdot Z_r^*(s) \cdot (s + s_B)^{n-m}\,, \tag{34a}$$

$$Z_r^*(s) = (-1)^{r_z} \prod_{i=1}^{r_z} (s + s_{ri}) \tag{34b}$$

und $P_F(s)$ je nach Nenner der Strecke entsprechend Gl. (28a) bzw. Gl. (32) lassen sich für Stabilitätsreserve und V_m gleiche Werte wie bei Phasenminimumsystemen erreichen. Nimmt man $P_B(s)$ als beliebiges Hurwitz-Polynom an, dann lassen sich die gleichen V_M-Werte wie bei $P_B(s)$ nach Gl. (28b) oder Gl. (34a) erreichen, aber im praktisch sinnvollen Bereich $0 < r < 1$ ist jeder r-Wert erreichbar. Allerdings treten dann durch $P_B(s)$ statt einem (s_B) n (die Koeffizienten des Polynoms $P_B(s)$) Entwurfsparameter für das Optimierungsproblem auf.

Abschließend ist zu den vorangegangenen Betrachtungen folgendes zu sagen: Es läßt sich damit zwar grundsätzlich zeigen, für welche r- und V_M-Werte überhaupt Lösungen existieren, vor allem die Annahme für $P_F(s)$ entsprechend Gl. (28b) bzw. Gl. (32) erscheint aber doch recht einschränkend, und erlaubt grundsätzlich keine Aussage hinsichtlich der Existenz einer Lösung bei beliebig vorgegebenem $P_F(s)$. Dazu ist allerdings zu sagen, daß i. allg. die Nullstellen von $P_F(s)$ nicht allzuweit von den Polen der Strecke entfernt liegen, da sich sonst bei Sollwertsprüngen zu große Stellgrößen ergeben würden. Dies ist vermutlich auch der Grund, daß — wie sich an verschiedenen Beispielen gezeigt hat — auch bei einem im Hinblick auf das Führungsverhalten geeignet gewähltem $P_F(s)$ sich meist die gleichen r- und V_M-Werte wie bei $P_F(s)$ nach Gl. (28a) bzw. Gl. (32) erreichen lassen. Hinsichtlich $P_B(s)$ ist zu sagen, daß man — wie in [16] dargelegt wird — bestimmte Klassen von Streckennullstellen sogar kompensieren muß, um eine ausreichende Stabilitätsreserve erreichen zu können. Deshalb sind die Annahmen für $P_B(s)$ entsprechend Gl. (28b) und Gl. (34a) nicht so einschränkend, wie sie vorerst erscheinen.

3. Führungs- und Störungsverhalten

Folgende zwei für die Praxis wichtige Entwurfsziele werden betrachtet, wobei stets vorausgesetzt wird, daß die entsprechende Parameteroptimierung unter Berücksichtigung der Nebenbedingungen, betreffend die Stabilitätsreserve und V_M, zu erfolgen hat. (Im folgenden werden der Einfachheit halber diese Nebenbedingungen mit NSV abgekürzt.)

- Optimales Führungsverhalten und Wahl der das Führungsverhalten nicht beeinflussenden Entwurfsparameter ($P_B(s)$) so, daß das Störungsverhalten möglichst günstig wird.
- Optimales Störungsverhalten.

Vorerst wird die Fragestellung „optimales Führungsverhalten" behandelt. Laut Gl. (8) hängt das Führungsverhalten nur von

$P_F(s)$ ab. In die NSV gehen aber — wie der vorangegangene Abschnitt zeigt — u. a. über $F_0(j\omega)$ $P_F(s)$ und $P_B(s)$ ein, so daß auch zur Ermittlung eines optimalen Führungsverhaltens von $P_F(s)$ und $P_B(s)$ auszugehen ist.

In der Literatur gibt es diverse Verfahren zur Wahl von $P_F(s)$ [1] [2] [6] [8] [15] und [20], die sich meist so auffassen lassen, daß bestimmte freie Entwurfsparameter durch Parameteroptimierung hinsichtlich einer bestimmten Gütefunktion unter Berücksichtigung von Nebenbedingungen optimal zu wählen sind. Man hat dazu praktisch immer von einem Sollwertsprung $(w(t) = \sigma(t))$ auszugehen und zu fordern, daß die jeweilige Gütefunktion unter der Nebenbedingung

$$|u(t)| \leqq u_{max} \tag{35}$$

minimiert wird, wobei $u(t)$ die unter einem Sollwertsprung auftretende Stellgröße ist. Dazu sollen zwei wichtig erscheinende Gütefunktionen betrachtet werden. Bei der ersten wird für $P_F(s)$ von einem beliebigen Hurwitz-Polynom der Form

$$P_F(s) = p_0^F + p_1^F s + \ldots + p_{n-1}^F s^{n-1} + s^n \tag{36}$$

ausgegangen und gefordert, daß die Gütefunktion

$$I = \int_0^\infty f(x_w, t)\, dt \tag{37}$$

unter der Nebenbedingung (35) (im weiteren als NU bezeichnet) durch geeignete Wahl der p_i^F minimiert wird ($x_w = w - y$ Regelabweichung). $f(x_w, t)$ kann dabei z. B. eine der folgenden bekannten Funktionen [1]

$$f(x_w, t) = \begin{cases} x_w^2 \\ |x_w| \\ t|x_w| \end{cases} \tag{38}$$

sein.

Weiter kann man von folgender — im Bereich der Zustandsregelung sehr bekannten — quadratischen Gütefunktion [15]

$$I = \int_0^\infty [x_w^2(t) + \lambda(u(t) - u(\infty))^2]\, dt \tag{39}$$

ausgehen. λ stellt dabei einen Gewichtsfaktor für die Stellgröße dar, der beispielsweise so gewählt werden kann, daß NU erfüllt ist. Für das zur Gütefunktion (39) gehörende $P_F(s)$ gilt bekanntlich [15]

$$P_F(s) \cdot P_F(-s) = N(s) \cdot N(-s) \cdot \lambda + Z(s) \cdot Z(-s)\,. \tag{40}$$

$P_F(s)$ läßt sich damit folgendermaßen bestimmen. Man ermittelt die $2n$ Nullstellen des rechten Ausdruckes von Gl. (40); n von diesen Nullstellen haben einen negativen Realteil — sie werden im weiteren mit s_i^- bezeichnet — und sind gleich den Nullstellen von $P_F(s)$, so daß dafür

$$P_F(s) = \prod_{i=1}^{n} (s - s_i^-) \tag{41}$$

folgt.

Geht man bei der Polvorgabe von der Gütefunktion (37) aus, so treten durch $P_F(s)$ n Entwurfsparameter (p_i^F) auf. Die auf der Gütefunktion (39) basierende Polvorgabe hat demgegenüber den Vorteil, daß hinsichtlich $P_F(s)$ mit λ nur ein Entwurfsparameter auftritt.

Zur Existenz einer Lösung der Parameteroptimierung ist folgendes zu sagen:

Geht man von der Gütefunktion (37) aus, so ist $P_F(s)$ voraussetzungsgemäß ein beliebiges Hurwitz-Polynom und kann daher Gl. (28a) bzw. Gl. (32) erfüllen. Das über die Gütefunktion (39) und damit aus Gl. (40) sich ergebende $P_F(s)$ kann diese Gleichungen ebenfalls erfüllen, wenn λ genügend groß gewählt wird. Nimmt man weiter $P_B(s)$ als beliebiges Hurwitz-Polynom oder — je nach Lage der Streckennullstellen — nach Gl. (28b) bzw. nach Gl. (34) an, dann existiert entsprechend dem vorangegangenen Abschnitt sicher eine Lösung.

Wie eingangs gesagt wurde, ist neben einem optimalen Führungsverhalten noch ein günstiges Störungsverhalten anzustreben. Die Ermittlung des optimalen Führungsverhaltens entsprechend der gewählten Gütefunktion ergibt unter Berücksichtigung der NU und der NSV ein optimales $P_F(s)$ ($P_F^0(s)$) und ein zugehöriges $P_B(s)$ ($P_B^F(s)$). Nachträglich ist, ausgehend von $P_F^0(s)$, unter Berücksichtigung der NSV ein hinsichtlich Störungsverhalten optimales $P_B(s)$ ($P_B^0(s)$) zu ermitteln. ($P_B(s)$ hat bekanntlich keinen Einfluß auf das Führungsverhalten.) Man kann dazu von einem Störgrößensprung ausgehen und die Gütefunktion (37) verwenden. Um die dafür erforderliche Simulation des Regelsystems zu vermeiden, kann man aber auch vom Störfrequenzgang nach Gl. (11) ausgehen. Bei diesem tritt der Regelfaktor

$$R(s) = \frac{1}{1 + F_0(s)} \tag{42}$$

auf, und um ein möglichst günstiges Störungsverhalten zu erreichen, wird man bestrebt sein, daß $|R(j\omega)|$ für einen möglichst großen Frequenzbereich klein ist. Untersuchungen an diversen Beispielen haben gezeigt, daß man i. allg. ein recht gutes Störungsverhalten erhält, wenn

$$|R(j\omega)| \leqq 0.1\,, \qquad 0 \leqq \omega \leqq \omega_0 \tag{43}$$

gefordert wird, wobei $P_B(s)$ so zu wählen ist, daß ω_0 möglichst groß wird ($\omega_0 \to$ Max). Mit Gl. (42) folgt für Gl. (43)

$$10 \leqq |1 + F_0(j\omega)|\,, \qquad 0 \leqq \omega \leqq \omega_0\,, \qquad \omega_0 \to \text{Max}\,, \tag{44}$$

und als Gütefunktion tritt hier $I = \omega_0(F_0(j\omega))$ auf. Um das zu bestimmten Entwurfsparametern ($P_B(s)$) gehörende ω_0 zu erhalten, benötigt man nach Bedingung (44) $|1 + F_0(j\omega)|$. Da wegen der geforderten Stabilitätsreserve (Bedingung (17)) ohnedies $|1 + F_0(j\omega)|$ ermittelt werden muß, erfordert dies keine zusätzliche Rechenzeit.

Ist das Entwurfsziel nur ein optimales Störungsverhalten, dann kann man praktisch wie vorher hinsichtlich der Gütefunktion entweder von einem Störgrößensprung oder vom Regelfaktor $R(j\omega)$ ausgehen. Im Gegensatz zu vorher sind aber nun $P_B(s)$ und $P_F(s)$ optimal im Hinblick auf das Störungsverhalten zu wählen. Dazu kann man je nach Lage der Streckennullstellen $P_B(s)$ entsprechend Gl. (28b) bzw. entsprechend Gl. (34) oder als beliebiges Hurwitz-Polynom annehmen. Für $P_F(s)$ kann man ebenfalls von einem beliebigen Hurwitz-Polynom oder von Gl. (40) ausgehen, aus der sich für ein bestimmtes λ laut Gl. (41) ein entsprechendes $P_F(s)$ ergibt. Die sich nach Annahme von $P_B(s)$ und $P_F(s)$ ergebenden Entwurfsparameter sind unter Berücksichtigung der NSV optimal im Sinn der angenommenen Gütefunktion zu wählen.

Ergänzend zum bisherigen ist noch folgendes zu sagen:

Untersuchungen an verschiedenen Beispielen haben gezeigt, daß bei den hier auftretenden Optimierungsaufgaben meist mehrere lokale Optima auftreten und man daher Suchverfahren einsetzen muß, mit denen auch das globale Optimum gefunden wird [13] und [14]. Dafür ist meist eine große, mit der Anzahl der Entwurfsparameter stark steigende Anzahl von Auswertungen der Gütefunktionen und der Nebenbedingungen erforderlich. Um die erforderliche Rechenzeit trotzdem halbwegs klein zu halten, muß man danach trachten, daß die Anzahl der Entwurfsparameter möglichst klein ist und die Auswertung der Gütefunktionen und Nebenbedingungen wenig Rechenzeit erfordert. Je nachdem, von welcher Annahme für $P_F(s)$ und $P_B(s)$ ausgegangen wird, ergeben sich maximal $2n$ ($P_F(s)$ und $P_B(s)$ beliebige Hurwitz-Polynome) bzw. minimal 2 Entwurfsparameter (λ, s_B). An diversen Beispielen hat sich gezeigt, daß sich in vielen Fällen schon mit Hilfe dieser 2 Entwurfsparameter ein recht günstiges Führungs- und Störungsverhalten erreichen läßt, wie auch das folgende Beispiel zeigt. Sollte man auf diese Weise kein befriedigendes Regelkreisverhalten erreichen, kann man immer noch von den möglichen $2n$ Entwurfsparametern ausgehen.

4. Beispiel

Anhand des folgenden Beispiels soll die Brauchbarkeit der angeführten Verfahren demonstriert werden. Dazu wird von folgender Regelstrecke

$$F(s) = \frac{1 + 3s}{(1 + s)^3} \tag{45}$$

ausgegangen und als Entwurfsziel ein möglichst günstiges Störungsverhalten gefordert. $P_F(s)$ und $P_B(s)$ sollen in diesem Sinne — durch Parameteroptimierung — so gewählt werden, daß, ausgehend von Bedingung (43), ω_0 möglichst groß sein soll. Weiter soll für die Verstärkung des Meßrauschens $V_{M\,zul} = 20$ gelten und dies durch die Nebenbedingung (27) berücksichtigt werden. Für die Stabilitätsreserve wird $r = 0.6$ angenommen und für $P_F(s)$ und $P_B(s)$ von folgenden Annahmen ausgegangen:
Annahme 1(A 1): $P_F(s)$ nach den Gln. (40), (41), $P_B(s) = Z(s) \cdot (s + s_B)^2$. Daher 2 Entwurfsparameter (λ, s_B).
Annahme 2(A 2): $P_F(s)$ und $P_B(s)$ beliebige Hurwitz-Polynome n-ter Ordnung und damit $2n(6)$ Entwurfsparameter.
Annahme 3(A 3): $P_F(s) = (s - s_R)^3$, $P_B(s) = (s - s_R)^3$.
Die Annahme 3 wurde getroffen, um zu zeigen, daß sich auch bei praxisnaher Annahme von Regelstrecke und reellen PR eine sehr geringe Stabilitätsreserve und ein ungünstiges Störverhalten ergeben kann [16].
Für die weiteren Untersuchungen wurde $s_R = -1{,}65$ gewählt, da mit diesem Wert für die Verstärkung des Meßrauschens etwa $V_M \leqq 20$ gilt. Damit stimmt Annahme 3 in dieser Hinsicht mit den Annahmen 1 und 2 überein.
Für die Annahmen 1 und 2 wurden $P_F(s)$ und $P_B(s)$ mit Hilfe eines Parameteroptimierungsverfahrens bestimmt. Bild 5 zeigt die dazu gehörenden Verläufe von $F_0(j\omega)$ und Bild 6 die unter einem Störgrößensprung $(z_S(t) = \sigma(t))$ auftretenden Verläufe der Regel- und Stellgröße.
Die Bilder 5 und 6 und die hier nicht angeführten Verläufe von $F_M(j\omega)$ zeigen folgendes:
A 3 ergibt eine sehr geringe Stabilitätsreserve $(r = 0{,}25)$ und ein schlechtes Störungsverhalten. Bei A 2 wird der zulässige Bereich hinsichtlich Stabilitätsreserve und V_M voll ausgenutzt und ein sehr günstiges Störungsverhalten erreicht. Das zu A 1 gehörende Störungsverhalten — genau gesagt: Der Verlauf der Regelgröße — ist nur etwas schlechter als das zu A 2 gehörende. A 1 hat aber den Vorteil, daß nur 2 Entwurfsparameter auftreten, während A 2 $2n(6)$ Entwurfsparameter aufweist. Das Optimierungsproblem ist daher für A 1 mit wesentlich weniger Rechenzeit als für A 2 zu lösen. Da das zu A 1 gehörende Störverhalten nur unwesentlich schlechter als das zu A 2 gehörende ist, ist zumindest im vorliegenden Fall A 3 dem A 2 vorzuziehen.

Zusammenfassung

Im Beitrag wird gezeigt, wie sich bei der Polvorgabe Forderungen hinsichtlich der zwei wichtigen Regelkreiseigenschaften, Stabilitätsreserve und Verstärkung des Meßrauschens berücksichtigen lassen. Durch geeignete Annahmen läßt sich dabei erreichen, daß unabhängig von der Streckenordnung nur zwei Entwurfsparameter für das zu lösende Parameteroptimierungsproblem auftreten und damit die erforderliche Rechenzeit relativ klein gehalten werden kann. Es ist zu erwarten, daß bei geeigneter Modifikation des angeführten Verfahrens dieses auch für die Polvorgabe von diskreten Regelsystemen und wegen der relativ geringen Rechenzeit eventuell auch im Rahmen von adaptiven Regelungen einsetzbar ist.

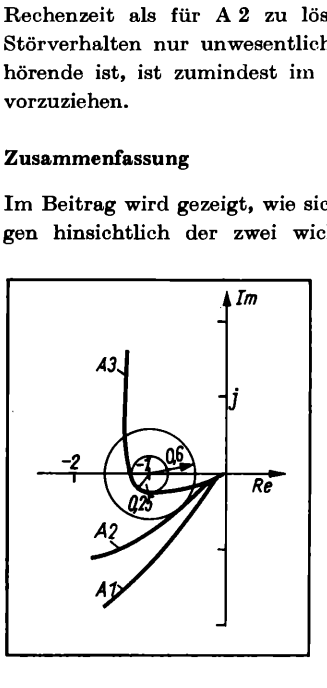


Bild 5. Verlauf von $F_0(j\omega)$

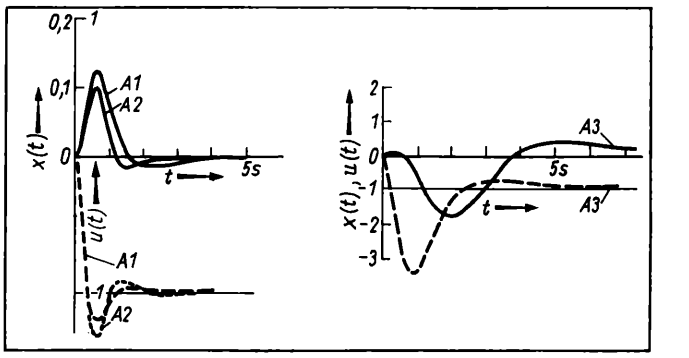


Bild 6. Störungsverhalten
Regelgröße ———
Stellgröße — — —, · · · · ·

Literatur

[1] *Föllinger, O.:* Regelungstechnik. Westberlin: Elitera-Verlag 1978
[2] *Ackermann, J.:* Entwurf durch Polvorgabe. Regelungstechnik (1977) S. 209–215.
[3] *Hippe, P.:* Zustandsregler in einläufigen Regelkreisen. Regelungstechnik (1974) S. 388–394.
[4] *Becker, N.:* Vergleich des Entwurfs linearer Regelungen im Zustandsraum und im Frequenzbereich für Systeme mit einem Eingang. Diplomarbeit am Institut für Regelungs- und Steuerungssysteme, Universität Karlsruhe 1976.
[5] *Ackermann, J.:* Einführung in die Theorie der Beobachter. Regelungstechnik (1976) S. 217–226.
[6] *Litz, L.; Preuss, H. P.:* Ein Vorschlag zur Wahl der Pole beim Verfahren der Polvorgabe. Regelungstechnik (1977) S. 318–323.
[7] *Grübel, G.:* Reglersynthese durch Verknüpfung von Zustandsraum und Frequenzbereich. Schriftreihe des Lehrstuhls für Meß- und Regelungstechnik, Abt. Maschinenbau, Ruhr-Universität Bochum 1977.
[8] *Kreisselmeier, G.; Steinhauser, R.:* Zur Berücksichtigung der Stellausschläge bei der Anwendung des Polvorgabeverfahrens. Regelungstechnik (1979) S. 209–212.
[9] *Fasol, D. H.:* Die Frequenzkennlinien. Westberlin/Heidelberg/New York: Springer-Verlag 1968.
[10] *Leonhard, W.:* Einführung in die Regelungstechnik. Wiesbaden: Friedr. Vieweg & Sohn Verlagsgesellschaft m.b.H. 1969.
[11] *Noisser, R.:* Ein Beitrag zum Einfluß der Beobachterpole auf das Regelkreisverhalten. Regeltechnik (1980) S. 64 und 65.
[12] *Kreisselmeier, G.; Steinhauser, R.:* Systematische Auslegung von Reglern durch Optimierung eines vektoriellen Gütekriteriums. Regelungstechnik (1979) S. 76–79.
[13] *Kanarachos, A.:* Rechnerunterstützte Auslegung von Regelkreisen mit Parameteroptimierungsmethoden. Regelungstechnik (1978) S. 220–226.
[14] *Kanarachos, A.:* Automatic System Design Optimization. Institut für Konstruktionstechnik, Ruhr Universität Bochum 1976.
[15] *Schwarz, H.:* Optimale Regelung linearer Systeme. Wissenschaftsverlag, Bibliographisches Institut 1976.
[16] *Noisser, R.:* Ein Beitrag zum Zusammenhang zwischen Polvorgabe und Stabilitätsreserve. Regelungstechnik (in Vorbereitung).
[17] *Isermann, R.:* Experimentelle Analyse der Dynamik von Regelsystemen — Identifikation I —. Hochschultaschenbücher, Bibliographisches Institut, 515/515a.
[18] *Samal, E.:* Grundriß der praktischen Regelungstechnik, Band II. München: R. Oldenburg Verlag 1970.
[19] *Schneider, G.:* Reglersynthese für Systeme mit Begrenzungen. Regelungstechnik (1977) A1–A4.
[20] *Plessmann, K. W.:* Kompensationssysteme unter Verwendung von Normpolynomen. Regelungstechnik (1972) S. 339–345.
[21] *Noisser, R.:* Entwurf eines Kompensationsreglers mit unempfindlichem Führungsverhalten. Regelungstechnik (1978) S. 201–208.

msr 7514

Prof. Dr. rer. nat. habil. *M. Peschel* und Dipl.-Math. *W. Mende*, Berlin[1])

Identifikation von Triebkraftmodellen vom Potenzprodukttyp

IA 1.1*

0. Einleitung

Instationäre und nichtlineare Übergangsvorgänge insbesondere vom Ruhezustand in den Arbeitszustand trifft man in den Anwendungen der Regelungs- und Steuerungstechnik in vielfältiger Weise an. Leider werfen die beim Anfahren komplexer Anlagen (Energieanlagen, Antriebe, chemische Reaktoren) auftretenden Nichtlinearitäten Probleme auf, die mit der Denkweise der linearen Regelungstechnik nur umständlich angegangen werden können.

So hilft man sich in der Weise, daß man längs eines Fahrdiagramms eine Folge von Arbeitspunkten als Teilziele beim Anfahren vereinbart, in der Umgebung der Arbeitspunkte lokale lineare Modelle anwendet, mit den Regeleinrichtungen sich auf die lokalen linearen Modelle bezieht.

Dies erfordert eine Anpassung der Parameter der Regeleinrichtungen an den jeweiligen Arbeitspunkt.

Es wäre viel angenehmer, wenn man den nichtlinearen Übergang in einem Guß beschreiben könnte, wenn auch in aggregierter Form, und sich mit den Regelungsmaßnahmen auf den Übergangsvorgang als Ganzes einstellen könnte.

Eine solche Möglichkeit bietet sich mit dem in [1] skizzierten Strukturentwurf für instationäre und nichtlineare Systeme an.

In diesem Beitrag soll ein spezieller Fall im Hinblick auf die Modellidentifikation näher untersucht werden, nämlich der Fall, wo der Übergang einer wesentlichen Größe (Leistung, Frequenz, Umsatz, ...) durch eine autonome nichtlineare Differentialgleichung vom Potenzprodukttyp beschrieben wird

$$\mathrm{d}x/\mathrm{d}t = Kx^k(B - x^w)^l$$

mit den bei bestimmten Grenzkonstellationen der Parameter auftretenden Randfällen $\mathrm{d}x/\mathrm{d}t = Kx^k(B - \ln x)^l$ bzw. $\mathrm{d}x/\mathrm{d}t = Kx^k\,\mathrm{e}^{wxl}$. Man vergleiche dazu die Ausführungen in [2].

Wie schon in [2] wird in diesem Beitrag eine Standardstruktur zur Realisierung dieser Systeme in Gestalt eines speziellen Bilinearsystems angegeben (Volterra-Gleichung).

Dabei treten alle zu identifizierenden Parameter linear auf. Es wird gezeigt, daß im Prinzip alle Parameter allein durch Messungen von $x(t)$ identifiziert werden können und daß je nach Konstellation der Parameter die Parameter des Potenzprodukttriebkraftmodells und seiner Grenzfälle aus Formeln explizit bestimmt werden können.

Auf bestimmte bei der numerischen Realisierung zu erwartende Probleme muß natürlich hingewiesen werden.

Da die logarithmische Ableitung $F = \dfrac{\mathrm{d}\ln}{\mathrm{d}t}$ der tragende Operator der gesamten zugrunde liegenden Idee des Strukturentwurfs ist, wobei Mehrfachanwendungen dieses Operators notwendig sind, ist nicht auszuschließen, daß hin und wieder durch nahe bei Null liegende Werte zu dividieren ist, wodurch eine Recheneinrichtung, die das normalerweise nicht erkennt, überfordert wird. Um solche Erscheinungen auszuschließen, sind Zusatzmaßnahmen in den Algorithmen erforderlich.

1. Überblicksinformationen über das Potenzprodukttriebkraftmodell

Nachdem von den Verfassern in den zurückliegenden Jahren eine Vielzahl von Zeitreihen aus unterschiedlichen Gebieten analysiert worden ist, verstärkt sich immer mehr der Eindruck, daß man nur bei ungekoppelten isolierten Systemen von einem gleichmäßig proportionalen, d. h. exponentiellen, Wachstum sprechen kann.

Vielmehr zeigen gekoppelte wachsende Systeme in der 1. Phase, dem extensiven Wachstum, in der Regel gleichmäßig überproportionales, d. h. hyperbolisches, Wachstum und in der 2. Phase, der intensiven Phase, wo Begrenzungen steuernd eingreifen, gleichmäßig unterproportionales, d. h. parabolisches, Wachstum. Beide Phasen lassen sich zusammenfassend beschreiben in dem Potenzprodukttriebkraftmodell

$$\mathrm{d}x/\mathrm{d}t = Kx^k(B - x^w)^l$$

(wobei häufig der Reichweitenparameter $w = 1$ angenommen wird).

Das Bild zeigt die aufgrund des Strukturentwurfs für instationäre und nichtlineare Systeme [1] einem solchen Verhalten zuordenbare Struktur.

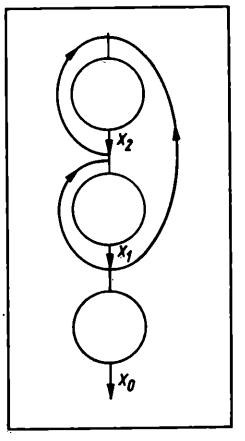


Bild. Zugeordnete Struktur auf der Basis des Strukturentwurfs für instationäre und nichtlineare Systeme

Dabei ist der Grundmodul immer die logarithmische Ableitung bzw. seine Umkehrung, der Exponentialintegrator $F^{-1} = e^{\int_0^t \cdot}$.

Zusammenlaufende Pfeile sind stets als Addition zu interpretieren, alle Zweige können mit konstanten Parametern als Signalmultiplikatoren versehen sein. Damit gehört zu der im Bild dargestellten Struktur folgendes Differentialgleichungssystem eines Bilinearsystems [3] bzw. eines Volterra-Systems [7].

$$\mathrm{d}x_0/\mathrm{d}t = K_0x_0x_1; \qquad \mathrm{d}x_1/\mathrm{d}t = x_1(K_1x_1 + L_1x_2);$$

$$\mathrm{d}x_2/\mathrm{d}t = x_2(K_2x_2 + L_2x_1)\,.$$

Diese Struktur ist zur Repräsentation des Verhaltens $x(t)$ der vorliegenden Differentialgleichung gedacht.

Offenbar kann dann zwischen den Parameterwerten und den Anfangswerten $x_1(0) \neq 0$ nicht differenziert werden.

Daher kann man ohne Einschränkung der Allgemeinheit immer folgende Normierung vornehmen: $x_1(0) = 1$ für $i = 1, 2$.

Da der Strukturentwurf [1] das gegebene Systemverhalten in das Verhalten einer Bilinearstruktur einbettet, wäre denkbar, daß die Analyse der Gleichungen des Bilinearsystems noch zu ganz anderen Verhaltensweisen führt.

Im vorliegenden Fall ist dies nicht zutreffend. In Abschn. 3. wird gezeigt, daß die Struktur im Bild nur die Potenzprodukttriebkräfte und deren Grenzfälle beinhaltet.

[1]) Mitteilung aus der AdW der DDR, Forschungsbereich Mathematik/Kybernetik, und dem Institut für Geographie und Geoökologie.

2. Identifikation der Parameter der Bilinearstruktur

Man geht davon aus, daß $x(t) = x_0(t)$ kontinuierlich meßbar ist und untersucht hier nicht die durch Übergang zu einem Tastsignal bedingten Effekte.
Man bildet:

$$w = \frac{\mathrm{d}x_0}{\mathrm{d}t}\Big/ x_0 = Fx_0 .$$

Es ist also $w = K_0 x_1$. Substituiert wird w in die verbleibenden beiden Gleichungen (Volterra-Lotka-System 2. Ordnung!)

$$Fw = \frac{K_1}{K_0} w + q , \qquad q = L_1 x_2 ,$$

$$Fq = \frac{K_2}{L_1} q + \frac{L_2}{K_0} w .$$

Man führt folgende Abkürzungen ein

$$\varkappa_1 = \frac{K_1}{K_0}, \qquad \varkappa_2 = \frac{K_2}{L_1}, \qquad \lambda = \frac{L_2}{K_0}$$

und erhält folgendes Abgleichproblem

$$q = Fw - \varkappa_1 w ,$$

$$Fq = \varkappa_2 q + \lambda w .$$

In einem übergeordneten Suchzyklus für $\varkappa_1$ (Optimierungszyklus) wird $\varkappa_1$ festgelegt und damit das Signal $q(t)$ generiert.
Nach linearer Regression wird Fq nach q und w entwickelt. Der quadratische Restfehler $Q(\varkappa_1)$ dieses Regressionsproblems ist das Optimierungskriterium für die Wahl von $\varkappa_1$.
Die gewisse Schwellen überschreitenden Werte von Fx_0, Fw und Fq müssen möglichst automatisch aus der Prozedur ausgeschlossen werden.
Da es sich um einen Signalabgleich handelt, ist damit zu rechnen, daß die verbleibende Information für die Parameterschätzung ausreichend ist, vorausgesetzt, daß Meßwerte in hinreichend dichter Folge und den Übergangsprozeß genügend überdeckend vorliegen.
Hat man die reduzierten Parameter $\varkappa_1$, $\varkappa_2$ und λ bestimmt, so können nunmehr aufgrund der Normierungsbedingung $x_i(0) = 1$ $i = 1, 2$ alle Bilinearparameter bestimmt werden. Offenbar ist $K_0 = w(t)|_{t=0}$.
Die zweite Gleichung ergibt

$$Fw|_{t=0} = K_1 + L_1 .$$

Es ist dann

$$K_1 = K_0 \varkappa_1 , \qquad L_1 = Fw|_{t=0} - K_1 , \qquad K_2 = L_1 \varkappa_2 ,$$
$$L_2 = K_0 \lambda .$$

3. Bestimmung der Parameter des Potenzproduktttriebkraftmodells aus den Parametern des Bilinearsystems

Dazu ist eine analytische Analyse des Bilinearsystems erforderlich.
Man versucht dazu, die Gleichungen des Bilinearsystems

$$Fx_0 = K_0 x_1 ; \qquad Fx_1 = K_1 x_1 + L_1 x_2 ;$$
$$Fx_2 = K_2 x_2 + L_2 x_1$$

unter Beachtung der Normierung $x_i(0) = 1$ für $i = 0, 1, 2$ „rückwärts" zu integrieren, bis eine Gleichung der Form $\mathrm{d}x_0/\mathrm{d}t = f(x_0)$ entsteht.
Zunächst ergibt sich

$$x_2 = \frac{1}{L_1}\left(Fx_1 - \frac{K_1}{K_0} Fx_0\right) = \frac{1}{L_1} F(x_1/x_0^{\varkappa_1}) .$$

Dies wird in die letzte Gleichung eingesetzt und man erhält

$$Fx_2 = \varkappa_2 F(x_1/x_0^{\varkappa_1}) + \lambda Fx_0 .$$

Diese Beziehung unter Beachtung der Normierung integriert führt zu folgendem wichtigen Zusammenhang

$$x_2 = x_1^{\varkappa_2} x_0^{\lambda - \varkappa_1 \varkappa_2} .$$

Setzt man hier abermals den Differentialausdruck für x_2 ein, so ergibt sich

$$F(x_1/x_0^{\varkappa_1}) = L_1 x_1^{\varkappa_2} x_0^{\lambda - \varkappa_1 \varkappa_2} .$$

Um hier weiter integrieren zu können, geht man von der Variablen t zur monoton mit t zusammenhängenden Variablen x_0 über.
Zu beachten ist dabei

$$\mathrm{d}/\mathrm{d}t = \mathrm{d}/\mathrm{d}x_0 \cdot \mathrm{d}x_0/\mathrm{d}t \quad \text{oder} \quad F = F_t = F_{x_0} K_0 x_0 x_1 .$$

Damit ist also

$$F_{x_0}(x_1/x_0^{\varkappa_1}) = \frac{L_1}{K_0} x_1^{\varkappa_2 - 1} x_0^{m-1} \quad \text{mit} \quad m = \lambda - \varkappa_1 \varkappa_2 .$$

Hier beginnt die Fallunterscheidung.

3.1. $\varkappa_2 = 1$

3.1.1. $m = 0$, d. h. $\lambda = \varkappa_1$

$$\ln (x_1/x_0^{\varkappa_1}) = \frac{L_1}{K_0} \ln x_0$$

und damit

$$x_1 = x_0^{L_1/K_0 + \varkappa_1} ,$$
$$\frac{\mathrm{d}x_0}{\mathrm{d}t} = K_0 x_0^{1 + (K_1 + L_1)/K_0}$$

Die zugehörige Potenzproduktdifferentialgleichung ist $\frac{\mathrm{d}x_0}{\mathrm{d}t} = Kx_0^k$.
Deren Parameter ergeben sich also zu

$$K = K_0 , \qquad k = 1 + (K_1 + L_1)/K_0 .$$

3.1.2. $m \neq 0$

$$\ln (x_1/x_0^{\varkappa_1}) = \frac{L_1}{K_0} \frac{(x_0^m - 1)}{m} .$$

Nun ergibt sich der Zusammenhang

$$x_1 = x_0^{\varkappa_1} \mathrm{e}^{L_1/(K_0 m) \cdot x_0^m} \mathrm{e}^{-L_1/(K_0 m)}$$

und damit

$$\frac{\mathrm{d}x_0}{\mathrm{d}t} = K_0 x_0^{\varkappa_1 + 1} \mathrm{e}^{L_1/(K_0 m) \cdot x_0^m} \mathrm{e}^{-L_1/(K_0 m)} .$$

Der entsprechende Grenzfall der Potenzproduktdifferentialgleichung lautet

$$\frac{\mathrm{d}x_0}{\mathrm{d}t} = Kx_0^k \mathrm{e}^{wx^l} .$$

Damit ergeben sich folgende Parameterbestimmungsgleichungen

$$K = K_0 \mathrm{e}^{-L_1/(K_0 m)} , \qquad k = \varkappa_1 + 1 , \qquad w = L_1/(K_0 m) ,$$
$$l = m = \lambda - \varkappa_1 \varkappa_2 .$$

Für Wachstumsvorgänge mit Sättigung ist also nur $L_1 < 0$ sinnvoll.
Offenbar genügt $\varkappa_1 > 0$, daß hyperbolisches Wachstum am Anfang auftritt.

3.2. $\varkappa_2 \neq 1$

Man führt nun in der Differentialgleichung

$$F_{x_0}(x_1/x_0^{\varkappa_1}) = \frac{L_1}{K_0} x_1^{\varkappa_2 - 1} x_0^{m-1}$$

eine Variablentransformation durch. Es ist zu setzen $x_1 = u^r$

$$rF_{x_0} u - \varkappa_1/x_0 = \frac{L_1}{K_0} u^{r(\varkappa_2 - 1)} x_0^{m-1} ,$$

$$r \frac{\mathrm{d}u}{\mathrm{d}x_0} - \varkappa_1 u/x_0 = \frac{L_1}{K_0} u^{1 + r(\varkappa_2 - 1)} x_0^{m-1} .$$

Für $r = 1/(1 - \varkappa_2)$ entsteht folgende lineare Differentialgleichung für u

$$\frac{du}{dx_0} - \frac{\varkappa_1}{r}\frac{u}{x_0} = \frac{L_1}{K_0 r} x_0^{m-1} .$$

Diese löst man nach der Variation der Konstanten.
Für die allgemeine Lösung der homogenen Gleichung erhält man:

$$u = C(x_0)\, x_0^{\varkappa_1/r}$$

Eingesetzt in die inhomogene Gleichung ergibt sich folgende Differentialgleichung für $C(x_0)$:

$$\frac{dC}{dx_0} = \frac{L_1}{K_0 r} x_0^{m-1-\varkappa_1/r} = \frac{L_1}{K_0 r} x_0^{\lambda-\varkappa_1-1} .$$

3.2.1. $\lambda = \varkappa_1$, d. h. $L_2 = K_1$

Hier ergibt sich

$$C(x_0) = 1 + \frac{L_1}{K_0 r} \ln x_0$$

und damit

$$u(x_0) = x_0^{\varkappa_1/r}\left(1 + \frac{L_1}{K_0 r} \ln x_0\right)$$

bzw.

$$x_1 = x_0^{\varkappa_1}\left(1 + \frac{L_1}{K_0 r} \ln x_0\right)^r$$

und damit

$$\frac{dx_0}{dt} = K_0 x_0^{\varkappa_1+1}\left(1 + \frac{L_1}{K_0 r} \ln x_0\right)^r$$

Die Potenzproduktvergleichsdifferentialgleichung lautet

$$\frac{dx_0}{dt} = K x_0^k (B - \ln x_0)^l .$$

Damit ergeben sich folgende Parameterbestimmungsgleichungen (es muß sein $L_1/(K_0 r) < 0$)

$$K = K_0 \left|\frac{L_1}{K_0 r}\right|^r \qquad k = \varkappa_1 + 1 , \qquad B = 1/|L_1/K_0 r| , \qquad l = r$$

3.2.2. Es sei $\lambda \neq \varkappa_1$, d. h. $L_2 \neq K_1$
Nun ist

$$C(x_0) = 1 + \frac{L_1}{K_0 r(\lambda - \varkappa_1)} (x_0^{\lambda-\varkappa_1} - 1) .$$

Damit erhält man

$$x_1 = x_0^{\varkappa_1}\left(1 + \frac{L_1}{K_0 r(\lambda - \varkappa_1)} (x_0^{\lambda-\varkappa_1} - 1)\right)^r$$

Insgesamt ergibt sich also

$$\frac{dx_0}{dt} = K_0 x_0^{\varkappa_1+1}\left(1 + \frac{L_1}{K_0 r(\lambda - \varkappa_1)} (x_0^{\lambda-\varkappa_1} - 1)\right).$$

Die Potenzproduktvergleichsdifferentialgleichung lautet

$$\frac{dx_0}{dt} = K x^k (B - x^w)^l .$$

Es ergeben sich offenbar folgende Parameterbestimmungsgleichungen (man beachte dabei, daß $L_1(K_0 r(\lambda - \varkappa_1)) < 0$ sein muß)

$$K = K_0 \left|\frac{L_1 - K_2}{L_2 - K_1}\right|^l ; \qquad k = \frac{K_1}{K_0} + 1;$$

$$B = 1 + \left|\frac{L_2 - K_1}{L_1 - K_2}\right|,$$

$$w = \frac{L_2 - K_1}{K_0}, \qquad l = 1/(1 - K_2/L_1) .$$

Literatur

[1] *Mende, W.; Peschel, M.:* Strukturentwurf für instationäre und nichtlineare Systeme. msr 24 (1981) H. 10, S. 581–583.
[2] *Mende, W.; Peschel, M.:* Probleme der mathematischen Modellierung von Evolutionsprozessen. msr 24 (1981) H. 11, S. 602–606.
[3] *Mohler, R.:* Bilinear Control Processes with Applications to Engineering, Ecology and Medicine. New York/London: Academic Press 1973.
[4] *Peschel, M.; Wunsch, G.:* Methoden und Prinzipien der Systemtheorie. Berlin: VEB Verlag Technik 1972.
[5] *Peschel, M.; Mende, W.; Voigt, M.:* Anwendung der Polyoptimierung auf Evolutionsprozesse. Österreichische Studiengesellschaft für Kybernetik. Rep. Nr. 16.
[6] *Mende, W.; Peschel, M :* Problems of Fuzzy Modelling, Control and Forecasting of Time-Series and some Aspects of Evolution. IFAC-Symposium on Control Mechanisms in Bio- and Ecosystems. Sept. 1977, Leipzig, Plenary Paper.
[7] *Volterra, V.:* Lecon sur la theorie mathematique de la lutte pour la vie. Paris: Gauthier-Villars 1931.

msr 7516

Dr. sc. techn. *W. Bennewitz*, Dipl.-Ing. *Th. Brauer* und Prof. Dr. sc. techn. *R. Müller*, Leipzig[1])

Konzeption einer „intelligenten" Stelleinrichtung

IA 4.0.5.; 4.6.

0. Einführung

Auf dem Weg der Entwicklung einer neuen Automatisierungsanlagenstruktur sollen an dieser Stelle, anlehnend an [1], Vorstellungen über „intelligente" buskoppelbare Stelleinrichtungen zur Diskussion gestellt werden. Kennzeichnend für diese neue Automatisierungsanlagenstruktur wird der Wegfall der informationsverarbeitenden Einheit als Gerät sein. Die Funktionen zur Informationsverarbeitung (Messungen, Regelungen, Steuerungen) sollen direkt in den mit dem Prozeß gekoppelten „intelligenten" Meßgliedern bzw. „intelligenten" Stelleinrichtungen realisiert werden.

Durch die Entwicklung der Mikroelektronik, speziell der Entwicklung von Einchipmikrorechnern (EMR), wurde die Voraussetzung zur Schaffung solcher intelligenten Einheiten gegeben. Die im weiteren dargelegten Vorstellungen zur Realisierung intelligenter Stelleinrichtungen beziehen sich auf einen hypothetischen EMR, der hinsichtlich Befehlsvorrat, Anschlußmöglichkeiten und Erweiterungen universell ist. In Anbetracht der stürmischen Entwicklung der mikroelektronischen Rechentechnik werden zukünftig EMR zur Verfügung stehen, die bisher bekannten überlegen sind, so daß neben den zu erfüllenden Regelungsaufgaben auch viele Neben- und Zusatzfunktionen realisierbar sein werden. Der gegenwärtige Stand komfortabler EMR ist deshalb als untere Grenze anzusehen.

[1]) Mitteilung aus der TH Leipzig, Sektion Automatisierungsanlagen.

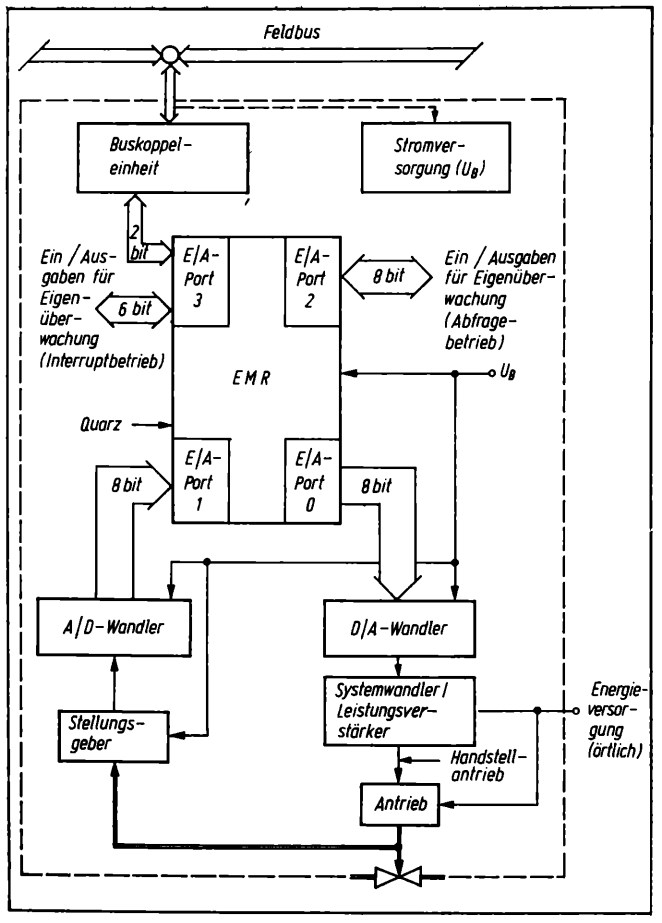


Bild 1. Prinzipschaltbild einer intelligenten Stelleinrichtung

1. Hardwarekonzeption

Nachfolgend wird auf eine Hardwarekonzeption eingegangen, die folgende wesentliche Komponenten beinhaltet:

- Datenbahn-(Bus-) kopplung
- Stellgrößenausgabe
- Zusatzfunktionen
- Redundanz
- Stromversorgung

Das Prinzipschaltbild der Konzeption zeigt Bild 1.

1.1. Buskopplung

Ein Minimum an Verkabelungsaufwand wird durch den konsequenten Übergang zur seriellen digitalen Datenübertragung erreicht [2]. Viele EMR beinhalten eine serielle Schnittstelle, die zur Buskopplung genutzt werden kann. Qualität und Eigenschaften werden durch den verwendeten EMR bestimmt. Serielle Schnittstellen, die den Prozessor des EMR nur in geringem Umfang belasten, z. B. nur zum Laden und Lesen eines Schieberegisters, sind anstrebenswert. Das Senden bzw. Empfangen eines Datenwortes erfolgt dann unabhängig vom Prozessor, so daß er während dieser Abarbeitung für andere Aufgaben genutzt werden kann. Extern vom EMR sind dann nur noch eine Leistungsverstärkung und Potentialtrennung zum Bus erforderlich.

1.2. Ausgabe der Stellgröße

Verwendet man zur Ausgabe der Stellgröße einen 8-bit-Port, erreicht man eine Auflösung von $\approx 0{,}39\%$. Dieses Auflösvermögen muß mit der Positioniergenauigkeit des Stellgliedes abgestimmt sein. Den Ausgangspunkt bildet die Güte des Regelkreises, worauf auch dessen Abtastfrequenz Einfluß hat.

Vergleicht man diese Positioniergenauigkeit mit Betriebsergebnissen konventioneller analoger Stellantriebe, so kann man erwarten, daß sie in weitaus den meisten Fällen ausreicht. Wird eine höhere Auflösung gefordert (10 bis 12 bit), so macht sich die Verwendung eines weiteren Ports — wenn vorhanden — erforderlich. Andernfalls benötigt man eine Doppelwortausgabe, die natürlich zusätzliche, extern zum EMR zu erstellende, Hardware wie Multiplexer und Zwischenspeicher erfordert. Aber auch zur Steuerung dieser Peripherie müssen Anschlüsse des EMR's verfügbar sein.

Ökonomisch günstig für die gesamte Automatisierungsanlage könnte sich eine Genauigkeitsstufung je nach Anwendungsfall auswirken, d. h. eine wahlweise Verwendung von 8-, 10- oder 12-bit-Auflösung. Die Auflösegenauigkeit staffelt sich dann zu 0,39%, 0,1% oder 0,024% (Prinzipschaltbild s. Bild 2).

Beinhaltet der EMR keinen D/A-Wandler, so macht sich zur Ansteuerung eines analogen Stellantriebes ein externer D/A-Wandler erforderlich. Dieser muß dann an die Breite des Digitalwortes der Stellgröße angepaßt werden und arbeitet auf einen Leistungsverstärker bzw. Systemwandler zum Stellantrieb.

1.3. Zusatzfunktionen

1.3.1. Positionierung

Neben den bisher verwendeten Positionern bietet sich bei dieser Automatisierungsstruktur eine Positionierung unter Einbeziehung des EMR's der intelligenten Stelleinrichtung an. Dabei handelt es sich um einen Positionierregelkreis, der mit Hilfe eines geeigneten Algorithmus ein unterlagerter Abtastregelkreis ist. Damit würde nicht mehr die eigentliche Stellgröße ausgegeben werden, sondern nur noch die Stellabweichung. Die aktuelle Stellung des Stellgliedes wird durch mechanische Kopplung auf Stellungsgeber übertragen. Diese Stellungsgeber sind im Zusammenhang mit der mikroelektronischen Rechentechnik ein noch zu lösendes Problem. Anstrebenswert wären Geber, die beliebige analoge Größen in digitale, von Rechnern direkt zu verarbeitende Größen wandeln. Ansonsten macht sich immer die Verwendung von A/D-Wandlern erforderlich. Anstelle der Ventilstellung kann zweckmäßigerweise auch der gestellte Durchfluß zurückgeführt werden. Unter den z. Z. gegebenen Bedingungen sollte als Einführungslösung die Wegänderung (Hub) des Stellgliedes in eine Widerstandsänderung umgeformt und diese mit Hilfe eines A/D-Wandlers (ggf. im EMR integriert) dem

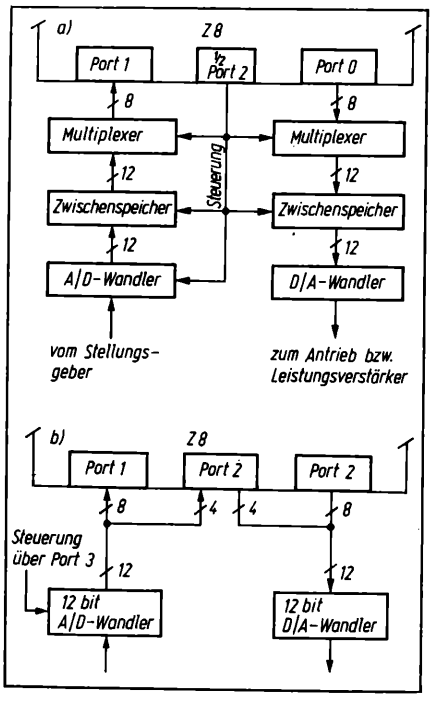


Bild 2. Anschlußvarianten

a) für 9 ... 16-bit-Wandler (Bildbeispiel für 12 bit); b) für 12-bit-Wandler

EMR zugeführt werden, um die Positionierung zu realisieren. Zu den Aussichten einer derartigen Positionierung wurden von *Telschow* [14] vielversprechende Voruntersuchungen durchgeführt. Zur Erprobung des Prinzips wurde dazu der Folgeregler einer Kaskadenregelung eines Mehrkanal-Mikrorechner-Reglers verwendet.

1.3.2. Weitere Zusatzfunktionen

Zusatzfunktionen, z. B. Kennlinienkorrektur, Grenzwertüberwachung, Windup-Unterdrückung usw., lassen sich auf der Basis von Einkanalregelungen (ein EMR je Regelkreis) einfach lösen und sind softwaretechnisch auszuführen. Dabei sind der benötigte Speicherplatz und die erforderliche Rechenzeit zu beachten.
Bei der Grenzwert- und Eigenüberwachung sind wiederum die Geber zu berücksichtigen. Evtl. kommt man hier aber auch schon mit gebräuchlichen Zweipunktgebern (Kontaktthermometer, Überstromrelais) aus.

1.4. Redundanz des Systems

Da in dieser Systemstruktur eine Verschiebung von multiplex arbeitenden Mehrkreisreglern zu Einzelreglern verwirklicht wird, treten die Belange des Ausfalls eines Reglers mehr in den Hintergrund, da bei Ausfall eines Reglers (EMR's) auch nur ein Regelkreis ausfällt. Außerdem sichert der hohe Komfort der Eigenüberwachung eine frühzeitige Fehlererkennung und prophylaktische Behandlung. Ausgenommen sind natürlich kritische Regelkreise.
Im Vordergrund steht das Bussystem. Mehrkanaleinheiten können meist im Störungsfall des Bussystems autonom weiterarbeiten. Anders verhält es sich bei einem System mit intelligenter, auf einem Feldbus arbeitender Meß-, Stell- und Leittechnik. Durch die Trennung von Meß- und Stellseite müssen über diesen Bus unter anderem Istwerte (Regelgrößen) des Regelkreises übertragen werden, so daß der Bus eine hohe Wertigkeit hat, d. h. die Zuverlässigkeit des Systems mit örtlicher Trennung von Meß- und Stellseite über eine Verbindung mit Hilfe eines Bussystem ist entscheidend abhängig von dieser Verbindung sowie der ordnungsgemäßen Funktion der zugehörigen Bussteuerung.
Fällt das Bussystem an einer Stelle nahe der Bussteuerung aus, sind damit alle angeschlossenen intelligenten Einheiten ohne Steuerung. Die Folge davon ist der Ausfall eines Teilsystems der automatisierten Anlage. Notwendig folgt daraus ein redundantes Bussystem sowie eine redundant aufgebaute Bussteuerung je Teilsystem.

1.5. Stromversorgung

Es bietet sich eine Versorgung der intelligenten Einheiten über den Bus an. Die Versorgung des Systemwandlers/Leistungsverstärkers und des Stellantriebs der Stelleinrichtung sollte wegen des hohen Leistungsbedarfs generell örtlich erfolgen. Begrenzt man die Anzahl der je Bus angeschlossenen intelligenten Einheiten, so ist deren Stromversorgung über den Bus möglich.
Nachteilig wirkt sich dabei der zentrale Charakter dieser Versorgung aus, und zur Zuverlässigkeitssteigerung sind entsprechende Maßnahmen zu treffen. Einfach realisieren läßt sich aber bei Energieausfall eine Umschaltung auf Reservestromversorgung. Dadurch bleibt der Überblick über die Anlage auch bei Energieausfall erhalten, da die Elektrotechnik zur Informationsgewinnung und -verarbeitung funktionsfähig bleibt. Ab Sekundärseite des Systemumformers erfolgt eine dezentrale Hilfsenergieversorgung. Dabei muß man berücksichtigen, daß diese oft, z. B. bei einem Großteil der Chemieanlagen, pneumatisch erfolgt.

2. Betrachtungen zur Software

2.1. Programmsystem

Um den Speicherplatz des EMR, der ja z. Z. noch bei maximal 4 K ROM (vorherrschend bis 2 K ROM) liegt, ökonomisch zu nutzen, ist es von großer Bedeutung, das Programm streng modular aufzubauen. Das Programmsystem muß damit klar gegliedert sein, und zwischen den Programmteilen müssen definierte Schnittstellen bestehen.
Da EMR derzeit noch nicht über Befehle zur Multiplikation, Division usw. verfügen, sind dafür Routinen als Unterprogramme zu schaffen. Für Regelungsaufgaben müssen diese Routinen (je nach Genauigkeitsforderung) mindestens eine Doppelwortbearbeitung erlauben. Neben diesen sind mindestens noch folgende erforderlich, sofern sie im Befehlsvorrat nicht vorhanden sind:

- Doppelwortaddition
- Doppelwortsubtraktion
- Schiebe-Routinen
- Doppelwortinkrement, -dekrement
- Eingabe-/Ausgaberoutinen
- Unterprogramm zur Verhinderung des integralen Windup
- Routinen zum Retten von Registerinhalten, wenn EMR mit „normalem" Registersatz.

Durch ein modular aufgebautes Programmsystem wird erreicht, daß der jeweilige Regelalgorithmus im wesentlichen nur noch aus Unterprogrammaufrufen besteht und sich die Möglichkeit ergibt, mehrere Regelalgorithmen nebeneinander abspeichern zu können, da sie im Speicherplatzbedarf minimal werden.

2.2. Reglersoftware

Zum Großteil wird auch bei diesem System der PID-Algorithmus zur Anwendung kommen. Neben diesem Algorithmus sollten auch „Anti-Windup-Programme" Anwendung finden, wie sie beispielsweise in [3] vorgestellt wurden.
Der Abtastbefehl des jeweiligen Regelkreises zur Bearbeitung des im EMR programmierten Regelalgorithmus sollte nicht von diesem EMR erfolgen, sondern von einem übergeordneten Rechner, da am Anfang des zu bearbeitenden Regelalgorithmus stets das Einlesen der aktuellen Regelgröße über den Feldbus steht und so Schwierigkeiten der Busbenutzung umgangen werden. Zum anderen liegen die Abtastzeiten in der Größenordnung von Sekunden, die meist im EMR nur mit zusätzlicher Hardware zu erzeugen sind, um die EMR nicht mit softwaremäßig organisierten Zählschleifen zu belasten. Bei der Wahl der Abtastzeit muß auch der verwendete Stellantrieb beachtet werden. Für Stellantriebe mit großen Stellzeiten ist es nicht sinnvoll, die Abtastzeit zu klein zu wählen, da bei der Ausgabe des neuen Stellbefehls der vorhergehende auch ausgeführt sein muß.

2.3. Einige Zusatzfunktionen

2.3.1. Positionierung

Neben der bisher verwendeten Positionierung mit Hilfe von Positionern wird durch die konstruktive Einheit von EMR und Stellglied/Stellantrieb eine Positionierung unter Einbeziehung des EMR's möglich. Bei Verwirklichung dieser Positionierung muß man sich zunächst verdeutlichen, daß es sich auch beim Positionierregelkreis um einen Abtastregelkreis handelt. Der Abtastbefehl zum Auslösen des Positionieralgorithmus ist durch den EMR (interne Zähler-/Zeitgebereinheit) zu verwirklichen. Für integral wirkende Stellantriebe genügt ein P-Algorithmus, für annähernd proportional wirkende ein PI-Algorithmus. Dabei ist auf die in Abschn. 2.1. erwähnten Unterprogramme zurückzugreifen.

2.3.2. Kennlinienkorrektur

Durch diese Korrektur wird eine möglichst lineare Betriebskennlinie des Stellgliedes angestrebt. Auch die Verwendung von Einheitskennlinien oder fertigungstechnisch orientierten Stellgliedkennlinien muß zunehmend in Betracht gezogen werden, die dann durch Programmierung zur gewünschten Kennlinie korrigiert werden. Da ein EMR auf je ein Stellglied arbeitet, läßt sich diese Korrektur relativ einfach programmtechnisch realisieren. Möglich ist z. B. die Abspeicherung einer zur realen Stellgliedkennlinie inversen Gleichung, um unter Betriebsbedingungen zu einer linearen Kennlinie zu gelangen, oder die Abspeicherung von festen Korrekturwerten für definierte Hubstellungen (Annäherung durch Geradenstücke).

2.3.3. Eigenüberwachung

Auch bei der Eigenüberwachung steht vorrangig das Problem der Entwicklung digitaler Geber. Zweipunktgeber sind relativ einfach realisierbar und auch schon vorhanden, aber nicht für alle Überwachungen einsetzbar. Bei analogen Gebern muß hardwaremäßig eine Digitalisierung der Informationen erfolgen, was den Bauelementeaufwand vergrößert.
Die intelligente Stelleinrichtung sollte mindestens folgende Kriterien überwachen:

- Hilfsenergieabfall bzw. -ausfall (für Systemwandler/Leistungsverstärker und Stellantrieb)
- Umschaltung auf Notbetrieb bei vorhandenem, an der Stelleinrichtung gelagertem Notspeicher für einen begrenzten Zeitraum
- Absinken der Umgebungstemperatur unter einen Grenzwert $\vartheta_{u\,min}$: Einschaltung Heizung
- Selbsterwärmung über einen zulässigen Wert $\vartheta_{s\,max}$: Abschalten der Stelleinrichtung; gefahrlose Endlage bzw. Verblokkung des Antriebes
- Antriebsüberlastung: Abschalten der Stelleinrichtung; gefahrlose Endlage bzw. Verblockung des Antriebes.

Eine mögliche Bildschirmanzeige ist in der Tafel dargestellt.

Tafel. Bildschirmanzeige

11:32:43		
AUT. SEKTION	ADRESSE	BMSR-STELLE
2	OAH	FRCA-2402
HILFSENERGIEAUSFALL:	ZEIT: 11:28:04	
! NOTBETRIEB !	BIS:	11:37:00
AUTOMATISCHE ABSCHALTUNG DURCH VENTILVERBLOCKUNG	AB:	11:37:00
WEITERE ANGABEN UNTER: ...		

2.3.4. Autodiagnose

Autodiagnoseverfahren sind in der Literatur schon publiziert. Für den Einsatz in EMR's müßten diese u. U. modifiziert werden, da besonders jene, die mit zusätzlicher Hardware arbeiten, auf Daten- und Adressbus zurückgreifen müssen. Um die Hardware der intelligenten Stelleinrichtung nicht zu vergrößern, ist auf softwaretechnische Prüfung größeres Augenmerk zu legen. Man sollte sich auf gezielte Tests beschränken, z. B. exemplarische Berechnung eines Regelalgorithmus mit bekannten Eingangsdaten und bekanntem Ergebnis sowie RAM- und ROM-Testprogramme kleinen Umfangs. Gegebenenfalls sind gezielte Tests durch einen übergeordneten Rechner auszulösen.

3. Ausblick

Wie sich gegenwärtig abzeichnet, werden EMR entwickelt, die sich für bestimmte Anwendungsgebiete besonders eignen. Bei intelligenten Stelleinrichtungen sind solche für regelungs- und steuerungsorientierte Anwendung vorteilhaft. Der Festwertspeicher des EMR sollte wahlweise auch mit EPROM ausführbar sein, was sich besonders für die Programmentwicklung sehr günstig auswirkt. Den Gebern, die die unmittelbare Verbindung zwischen Prozeß und Automatisierungstechnik darstellen, kommt unter dem Einsatz dieser hochintegrierten EMR größte Bedeutung zu. Um eine einfache, hardwaremäßig minimale Kopplung der Geber mit dem EMR zu gewährleisten, sollten Geber entwickelt werden, die digitale Ausgänge zur direkten Kopplung mit dem EMR haben.

Literatur

[1] *Töpfer, H.; Kriesel, W.:* Zur funktionellen und strukturellen Weiterentwicklung der Automatisierungstechnik. msr. 24 (1981) H. 4, S. 183–188.
[2] *Bennewitz, W.:* Strategie zur Lösung topologischer Probleme bei der Projektierung von Automatisierungsanlagen auf der Basis von Mikroprozeßrechnern. Dissertation B. TH Leipzig 1981.
[3] *Birk, H.:* Kompaktregler mit Mikrorechner-Bausteinen. Dissertation TU München 1977.
[4] *Blomeyer-Bartenstein, H.-P.:* Traditionsgemäß revolutionierend: EIN-CHIP-Mikrocomputer Z 8. elektronik-industrie 10 (1979) H. 1/2, S. 13–15, und H. 3, S. 15 und 16.
[5] Z 8 MCU Mikrocomputer. Product Spezification. 1979 by Zilog.
[6] *Puls, H.-J.:* Automatisierungseinrichtungen auf der Grundlage intelligenter Meß- und Stelleinrichtungen. Diplomarbeit. TH Magdeburg 1979.
[7] *Isermann, R.:* Digitale Regelsysteme. Westberlin/Heidelberg/New York: Springer-Verlag 1977.
[8] *Gräfenhain, U.:* Vorschläge zur Autodiagnose bei Mikrorechnereinsatzfällen in intelligenten Meßeinrichtungen. Diplomarbeit. TH Leipzig 1981.
[9] Die Anwendung von Mikroprozessoren in der Meß-, Steuer- und Regelungstechnik. VDE Bezirksverein Frankfurt/M., VDE Verlag GmbH 1977.
[10] Beispiele aus der Praxis der Anwendung der Mikroprozessortechnik für Messen, Steuern und Regeln. VDE Bezirksverein Frankfurt/M. VDE Verlag GmbH 1979
[11] System 1100 by XOMOX Control Engineering. März 1979, S. 54.
[12] *Meiling, W.:* Mikroprozessor-Mikrorechner. Funktion und Anwendung. Berlin: Akademie-Verlag 1978.
[13] EMR-Generation INTEL MCS-51. elektronik-industrie 11 (1980) H. 12, S. 13 und 14.
[14] *Grecksch, K., Telschow, D.:* Ansteuereinheit zur Kopplung von Mikrorechnerreglern (MRR) mit Stelleinrichtungen zur Stoffstrombeeinflussung. Wiss. Z. der TH „Otto von Guericke" Magdeburg 25 (1981) H. 4.

msr 7575

Dr. phil. *G. Hofmann*, Jena[1])

Erscheinungen der Synonymie in der deuschen und englischen Meßtechnikterminologie

IA 6.5.

0. Einleitung

Der präzise Gebrauch wissenschaftlicher Termini in Quellen- (QS) und Zielsprache (ZS) wird in jedem Fall in erster Linie durch die Fachkenntnis der kommunizierenden Wissenschafler bestimmt. Das heißt: Nur eine möglichst genaue Kenntnis der Definitionsinhalte der Termini ist Grundlage einer optimalen mutter- oder fremdsprachigen Kommunikation. Eine weitere Kommunikationsbedingung ist jedoch die Übereinstimmung bezüglich der Auswahl und Verwendung und Akzeptierung eines Terminus aus einem Angebot von mehreren Termini, von mehreren Synonymen gleichen oder ähnlichen semantischen Inhalts.

Häufig werden zur Benennung eines Sachverhaltes \mehrere Termini gebildet und verwendet, die in den seltensten Fällen bezüglich ihrer Definitionsinhalte deckungsgleich sind [1] und [2]. In der Praxis werden deshalb oft von zwei Wissenschaftlern zwei Termini verwendet, um einen Gegenstand oder eine Erscheinung zu benennen. Nicht selten macht sich in diesen Fällen erst einmal ein gegenseitiger Definitionsaustausch oder auch -abgleich notwendig, der bei der fremdsprachigen Kommunikation noch von größerer Bedeutung für die exakte Erlangung der Kommunikationsabsicht ist.

Ziel dieser Untersuchung ist es, die Vielfalt der synonymen Beziehungen in der englischen und deutschen Meßtechnikterminologie und die daraus resultierenden Probleme darzustellen.

1. Allgemeine Merkmale des Synonyms

Zwei oder mehrere Wörter können als teilsynonym — selten als vollsynonym — angesehen werden, „wenn sie bedeutungsähnlich sind und wenn man sie auf das gleiche Ding oder den gleichen Sachverhalt beziehen kann. Kriterium ist ihre gegenseitige Austauschbarkeit in einem konkreten Kontext" [3]. „Betrachten wir den Gesamtwortschatz als semantisch gegliedert, so sind Synonyme die Minimalgruppen der durch paradigmatische Bedeutungsbeziehungen zusammengeschlossenen Lexeme. Es handelt sich um wenigstens zwei sprachliche Einheiten, die „sinnverwandt" — „bedeutungsverwandt" sind" [4]. Die paradigmatischen Bedeutungsbeziehungen sind die Beziehungen, die zwischen den Synonymen einer Synonymreihe bestehen und die dem Sprachbenutzer gegenwärtig sein müssen bei der Auswahl eines der Synonyme für den gegebenen kommunikativen Anlaß.

Eine Synonymreihe kann aus zwei bis etwa zehn Synonymen bestehen, wobei meist ein Lexem eine Dominanz gegenüber den anderen Lexemen aufweist [5]. Diese Dominanz kann so weit gehen, daß sie eine begriffliche Unterordnung der Teilsynonyme mit sich bringt und beweist, daß jeder Wortschatz hierarchisch gegliedert ist und ein Klassifikationssystem der Wirklichkeit darstellt [3]. Während z. B. in der Meßtechnikterminologie „Thermometer" ein Oberbegriff, ein Hyperonym ist, verkörpern „Glasthermometer", „Fieberthermometer" und „Außenthermometer" Hyponyme, also Unterbegriffe bzw. Teilsynonyme, die wiederum in ihrer Beziehung zueinander als Kohyponyme zu betrachten sind. Das ist der Fall, obwohl aufgrund unterschiedlicher Motivationsprinzipien eine unterschiedliche semantische und auch morphologisch-lexikalische Darstellung der Termini gewählt wurde: „Glasthermometer" bezeichnet mit seinem Bestimmungswort (BW) die Konstruktion, „Fieberthermometer" die Meßgröße, „Außenthermometer" den Meßort. Zweimal werden die BW durch die Substantive, einmal durch ein Adverb repräsentiert. Im Englischen wird der Terminus „liquid-in-glass thermometer" als Äquivalent für „Glasthermometer" gewählt und gibt eine wesentlich genauere Beschreibung der Konstruktion als der deutsche Terminus. Eine lexikalisch-morphologische Änderung trat insofern ein, als für das deutsche Substantiv im Englischen eine Wortgruppe eingesetzt wurde. Für „Fieberthermometer" steht „clinical thermometer"; d. h., nicht die Meßgröße, sondern der Meßort wird hier angegeben. Anstelle des deutschen Substantivs steht ein englisches Adjektiv. Das Adverb „außen" findet im Englischen das Adjektiv „external" als Äquivalent. Sowohl QS- als auch ZS-Terminus benennen den Meßort.

Die gegebenen Beispiele zeigen, daß die Terminusbildung innerhalb eines Fachgebietes der Meßtechnik, nämlich der Temperaturmessung, nicht nur im Deutschen, sondern auch im Englischen einer unterschiedlichen semantischen und damit auch unterschiedlichen morphologischen Motivation unterliegt. Beide Sprachen beziehen sich auf einen Gegenstand, z. B. ein Thermometer, das zur Überprüfung und Messung der Temperatur des Menschen verwendet wird. Beide Sprachen spiegeln diesen Gegenstand sprachlich unterschiedlich wider, da sie unterschiedliche Ausschnitte der objektiven Realität auswählen für die sprachliche Kodifizierung des von ihnen geformten Abbildes [1]. Das heißt, nicht die objektive Realität ist unterschiedlich im deutschen und englischen Sprachraum, sondern die Sprachformung, die Mittel der Sprache, aber auch Kultur, Bildung und Tradition der Sprachbenutzer.

Die gegebenen Beispiele verdeutlichen die vielfältigen Beziehungen einiger Teilsynonyme innerhalb einer Synonymreihe. Da in QS und ZS keine definitorischen Schwierigkeiten vorliegen, sind diese Beziehungen verhältnismäßig leicht zu erfassen. Oftmals jedoch überschneiden sich die Definitionen der Teilsynonyme, oder es treten zusätzlich Überlappungen mit anderen Hyperonymen auf. Oder es kann nicht entschieden werden, was Hyponym, was Hyperonym ist bzw. welches Hyponym welchem Hyperonym zugeordnet werden sollte. Bei der Translation steht zusätzlich die Frage nach dem geeigneten ZS-Äquivalent, denn meist kann die Tatsache als gegeben angesehen werden, daß neben einer QS-Synonymreihe eine ZS-Synonymreihe steht. Stets ist jedoch davon auszugehen, daß etwa in der Reihenfolge: Gerätesystem — Gerät — Geräteteil die Zahl der Synonyme abnimmt und sich die — um einen Meßtechnikterminus zu gebrauchen — Bandbreite des Bedeutungsumfanges verringert. Je kleiner ein Teil in einem System, desto weniger synonyme Termini, desto fester umrissen die Bedeutung.

Es kann gesagt werden, daß die Synonymie eine der sprachlichen Erscheinungen ist, die eine Terminologie keineswegs so einfach und eindeutig macht, wie sie sein sollte. Sie ist als eine der Hauptursachen der nicht enden wollenden definitorischen Streitigkeiten unter den Meßtechnikern aller Sprachräume anzusehen. Sie ist gleichfalls Ursache vieler Ungenauigkeiten in zwei- und mehrsprachigen Wörterbüchern. Da sie keineswegs selten anzutreffen ist, wie das [4] annimmt, gilt es, sich mit ihr auseinanderzusetzen.

Grundlage aller sprachwissenschaftlichen Untersuchungen müssen deshalb exakte definitorische Kenntnisse der Termini sein.

[1]) Mitteilung aus der Friedrich-Schiller-Universität Jena, Institut für Fremdsprachen.

Erst dann ist ein lexikalisch-morphologischer und semantischer Vergleich zwischen Synonymen der Terminologien zweier Sprachen möglich.

Die Menschen, die Wissenschaftler hätten schnell die Lösung dieses Problems gefunden, wenn sich Helvetius' Wunschtraum erfüllt hätte: „Wenn dieses Wörterbuch in alle Sprachen übersetzt ist, wäre es die allgemeine Sammlung fast aller menschlicher Ideen". Und weiter: „... und alle Menschen werden von diesen Wissenschaften dieselben Ideen haben, weil alle — wie ich gezeigt habe — notwendigerweise dieselben Beziehungen zwischen denselben Gegenständen wahrnehmen. Ein weiterer Beweis dieser Wahrheit ist, daß alle Menschen zu allen Zeiten ungefähr zu demselben Resultat gekommen sind, wenn sie ungefähr dieselben Tatsachen kombinieren, ..." [6].

Das enzyklopädische Wörterbuch für alle Sprachen der Welt ist eine Sache, die nie erreichbar sein wird. Daß bestimmte Zeiten die Lösung bestimmter wissenschaftlicher Probleme an verschiedensten Orten der Welt zum Reifen bringen, ist bekannt. Eben dieses Heranreifen einer Lösung von Problemen bei verschiedenen Wissenschaftlern ist eine der Hauptursachen der Synonymie. Die entdeckten Gesetze, gelösten Probleme oder konstruierten Geräte müssen benannt werden. Es wäre Zufall, sollten zwei oder vier oder mehr Wissenschaftler, die oftmals unabhängig voneinander arbeiten, dieselben Mittel für die sprachliche Widerspiegelung eines Abbildes wählen. Das Abbild von dem von ihnen untersuchten Objekt wird nie vollständig deckungsgleich sein. Dies führt zu einer unterschiedlichen Betonung der einzelnen Merkmale des von ihnen geformten Abbildes und somit auch zu einer unterschiedlichen Terminusbildung.

Fachliche Qualifikation und Beherrschung der Terminologie sind weitere Faktoren, die die Wortbildungsarbeit des Meßtechnikers beeinflussen. Hat er zum Beispiel vollständige Kenntnis von einer Synonymgruppe, kann er ein optimal, eventuell analog gebildetes weiteres Teilsynonym einfügen. Je höher der Qualifikationsgrad des Meßtechnikers, desto besser die Möglichkeiten, das lexikalisch-semantische Umfeld des neu zu bildenden Terminus zu sondieren und in verantwortungsvoller Arbeit einen fachlich-sprachlich-kommunikativ optimalen Terminus zu bilden.

Auch in anderer Hinsicht ist die Qualifikation des Wissenschaftlers von Bedeutung. Je mehr Vorträge und Vorlesungen er hält, je mehr Artikel und Bücher er schreibt, desto mehr Wissenschaftler werden den von ihm gebildeten neuen Terminus kennenlernen und akzeptieren. Nicht immer muß der meistgebrauchte Terminus der durch den einschlägigen Standard anerkannte sein. Oft konkurrieren „inoffizieller" und „offizieller" synonymer Terminus miteinander. Oder aber der inoffizielle Terminus löst eines Tages den offiziellen Terminus ab und wird durch Standard anerkannt.

Auch Meßgerätefirmen können den Terminusgebrauch beeinflussen. Sind sie marktbeherrschend, so wird der durch diese Firmen in Firmenschriften verwendete Terminus von Käufern und Anwendern bevorzugt benutzt. Auf diese Weise favorisierte die Fa. Hartmann & Braun anstelle der Termini: Stellumformer, Signalumformer, Einheitsmeßumformer, Einheitsformer, Signalwertumformer, Signalgrößenumformer den Terminus „Meßumformer". Nur dieser eine Terminus wird durchgängig von jener Firma benutzt, um so eine eindeutige Kommunikation zu gewährleisten, die bei Benutzung der anderen erwähnten Teilsynonyme nicht garantiert werden könnte [7].

Ein- und Verkauf auf dem Weltmarkt erfordern eine Kommunikation, die auf beiden Seiten ökonomische Verluste und Mißverständnisse bestmöglich vermeidet. Synonyme können ein Anlaß dazu sein. Sie sind — vor allem in einem Buch, in einem Artikel, in einer Firmenschrift — nicht gefragt. Kein Meßtechniker sollte danach streben, eine stilistische Variabilität durch Verwendung von Synonymen anzustreben. Hat er sich für den Gebrauch eines Hyponyms bzw. Synonyms entschieden, so sollte er es durchgängig verwenden. Die Belletristik lebt von und mit dem Gebrauch der Synonyme. Ohne Synonyme wäre jede schöngeistige Literatur stilistisch und emotional arm. Für den Wissenschaftler und Techniker sind Synonyme jedoch stets eine Quelle von Mißverständnissen. Zudem stellen sie eine erhöhte, wenn auch nicht zu umgehende Belastung des Gedächtnisses dar.

2. Unterschiedliche Synonymieformen in der deutschen und englischen Meßtechnikterminologie

2.1. Internationalismen griechisch-lateinischen Ursprungs und ihre muttersprachigen Äquivalente

In der Meßtechnik wird eine Vielzahl von Meßgeräten mit Hilfe des Grundwortes (GW) „meter" und einem griechisch-lateinischen Wortstamm als Bestimmungswort (BW) benannt. Diese Art der Wortbildung wird auch heute noch analog verwendet bei der Benennung von neuen Meßgeräten.

Die als BW fungierenden Wortstämme werden ebenso wie das Grundwort international (nicht nur im Deutschen und Englischen) verstanden und können auch zu anderen GW der Meßtechnikterminologie treten, z. B. zu -graph, -graphy, -scope, -scopy und -gram [8] bis [10].

Untersucht man stellvertretend für alle „meter"-Termini den Terminus „Thermometer" morphologisch-semantisch, so gelangt man zu folgendem Ergebnis:

Englisch	Deutsch
thermometer	Thermometer

thermo = Wärme = heat = Meßgröße = measured quantity
meter = Meßgerät = measuring device
= a device that is measuring a temperature
ein Gerät, das eine Temperatur mißt
= a temperature-measuring device
ein temperaturmessendes Gerät, ein Temperaturmesser

In der QS wie in der ZS stehen Bezugswort + Relativsatz oder Wortgruppe bzw. Kompositum synonym für den Internationalismus, der fast immer bevorzugt wird, da er international verständlich und zugleich am sprachökonomischsten ist.

Im Gegensatz zum Englischen existiert im Deutschen häufig folgender Terminus: deutscher Terminus für die Benennung der Meßgröße + -messer, z. B.:

Manometer	Druckmesser
Pyrometer	Strahlungsmesser

Diese Termini sind Vollsynonyme zu den entsprechenden Internationalismen. Sie sind semantisch, wenn auch nicht morphologisch, gleichartig motiviert.

2.2. Englische Termini als Synonyme in der deutschen Meßtechnikterminologie

Um finanzielle Mittel für die Übersetzung von Vorträgen einzusparen und um die wissenschaftliche Kommunikation zu vereinfachen, findet auf Symposien und Konferenzen in zunehmendem Maße das Englische als einzige Konferenzsprache Anwendung. Infolgedessen werden auch die Konferenzmaterialien in Englisch gedruckt. Das heißt, die englische Sprache setzt sich immer stärker als internationales sprachliches Mittel der wissenschaftlichen Kommunikation durch.

Dies hat zur Folge, daß immer mehr englische Termini in die anderen ZS-Terminologien eindringen und synonym neben muttersprachigen Termini stehen: adapter (Anpasser), display

(Ausgeber), pickup (Aufnehmer), computer (Rechner), memory (Speicher), flip-flop (Kippstufe), input (Eingang), output (Ausgang), real time (Echtzeit). Oft werden die QS-Termini sogar bevorzugt [11]. Häufig unterzieht man sich nicht mehr der Mühe, geeignete muttersprachige Äquivalente zu bilden, da der wissenschaftlich-technische Fortschritt und die damit notwendig werdende wissenschaftliche Kommunikation und Forschungsarbeit nicht mehr die Zeit lassen, geeignete, gut motivierte deutsche Äquivalente zu bilden. Entlehnungen aus dem Englischen, die schließlich zu Internationalismen wurden und keine muttersprachigen Synonyme aufweisen, sind: Interface, Compiler, Assembler, Hardware, Software, Chip. Dies trifft besonders für die Terminologie der Rechentechnik zu. Diese Entwicklung ist nicht aufzuhalten, da durch die immer besser und rascher erfolgende Kommunikation, den wissenschaftlich-technischen Fortschritt und den internationalen Handel immer mehr Wissenschaftler und Techniker Englisch als Verständigungssprache nutzen. Internationale Konzerne verwenden englische Termini, um die von ihnen produzierten Geräte zu beschriften. Firmenschriften sind in steigendem Maße von englischen Termini durchsetzt. Dies erhöht die internationale Anwendbarkeit und auch den Verkauf von Geräten, d. h. den Gewinn der Konzerne. Ein Käufer, der sofort die Beschriftung eines Gerätes versteht, der Prospekte in Englisch, seiner Wissenschafts- und Verständigungssprache angeboten bekommt, kauft schneller, leichter. Neben dem Design des Gerätes wird die geschriebene Sprache zum ersten visuellen Kommunikationspartner des Käufers. Sie kann entscheidenden Anteil am Kauf bzw. Verkauf des Geräts haben.

„Den Hauptvorteil englischer Beschriftung haben letztendlich aber die Praktiker, die ihren Meßplatz mit Geräten ‚aus aller Herrn Länder' bestücken können, sei es mit einem Signalgeber aus Frankreich, einem italienischen Spannungsmesser, einem amerikanischen Oszilloskop oder einem TRANSIENT RECORDER von der Fa. Siemens. So verschiedenartig sie auch immer sind, eines haben sie alle gemeinsam: die englische Beschriftung auf der Frontplatte" [12].

Untersuchungen ergaben, daß die Fa. Siemens jedoch nur rechnergestützte bzw. Geräte mit Mikroelektronik englisch benennt. Herkömmliche Geräte werden mit deutschen Termini beschriftet, z. B. Drehfeldanzeiger [13].

2.3. *Personennamen als synonymes Wortbildungsmittel*

In der Meßtechnikterminologie werden die Namen berühmter Entdecker, Erfinder und Wissenschaftler zur Benennung von Geräten und Sachverhalten verwendet. Oft wurden diese Termini (meist Komposita) von anderen Wissenschaftsdisziplinen übernommen, vornehmlich der Physik und der Mathematik.

Im Unterschied zu den in Abschn. 2.1. beschriebenen Termini benennen die meisten Personennamen-Termini kodeartig komplizierte Sachverhalte und haben selten synonyme Äquivalente. Einige Ausnahmen seien angeführt:

Shannon theorem	Shannontheorem
sampling theorem	Abtasttheorem, Probentheorem, Kotelnikow-Theorem

Im englischen Sprachraum wurde nach dem Mathematiker *Shannon* das Theorem benannt, das zugleich eine synonyme Benennung ohne Personennamen aufweist: „sampling theorem". Im Deutschen sind vier Äquivalente nachweisbar: zwei Fachtermini ohne Personennamen, die Benennung mit Hilfe des Personennamens *Shannon* und mit Hilfe des Namens des sowjetischen Wissenschaftlers *Kotelnikow*, der etwa zur gleichen Zeit wie *Shannon* dieses Theorem entdeckte. Über die sowjetische Fachliteratur gelangte dieser Terminus in die deutsche Fachsprache der Meßtechnik, wobei es als fraglich dahingestellt sein soll, ob er außerhalb der DDR gleichermaßen leicht verstanden wird als Synonym zu dem englischsprachigen Personennamen-Terminus.

Ein ähnlicher Sachverhalt liegt vor bei „Wiener formula". Dieser Terminus wird in der englischsprachigen Literatur und der Literatur westeuropäischer Länder benutzt, da der Amerikaner *Wiener* dieses Theorem aufstellte. In der Sowjetunion stellte *Chintchin* die Formel auf. Dort wird zu ihrer Benennung sein Name verwendet. Somit liegen auch hier Vollsynonyme vor. Die Meßtechniker dritter Länder verwenden oft beide Personennamen zur Benennung: „Wiener-Chintchin-Theorem".

Hingewiesen sei auf einen „false friend", nämlich Rotameter. Zurückblickend auf Abschn. 2.1. und dementsprechend analog analysiert, müßte ein Rotameter ein Gerät sein, das die Drehzahl einer Maschine ermittelt. Stattdessen ist Rota der Name einer deutschen Firma, die einen Durchflußmengenmesser auf den Weltmarkt brachte, den sie analog den Termini unter Abschn. 2.1. benannte. Da diese Firma mit dem genannten Gerät weltmarktbeherrschend wurde, setzte sich der Terminus zunächst in den USA, dann in Deutschland und in anderen Ländern durch und wird synonym gebracht für Durchflußmengenmesser [14].

2.4. *Abkürzungen als synonymes Wortbildungsmittel*

Die Abkürzung ist stets als synonymes Äquivalent zur Vollform anzusehen. Häufiger Gebrauch der Abkürzung kann schließlich dazu führen, daß sie der Vollform vorgezogen wird. Dabei kann es geschehen, daß die Vollform schließlich unbekannt ist und die Abkürzung trotzdem in vollem Maße die Widerspiegelung der objektiven Realität, wenn auch in verschlüsselter Form, übernimmt [15].

Eine der bekanntesten Abkürzungen in der deutschen Meßtechnikterminologie ist der Dehnungsmeßstreifen (DMS). DMS ist ein Buchstabeninitialwort. Der gleiche Sachverhalt liegt vor bei BMSR-Technik und V-Wert.

Initialabkürzung, die wie ein Wort gesprochen wird, ist bei MIK-Wert, MEK-Wert, MAK-Wert zu beobachten.

Im Englischen liegen Buchstabeninitialwörter bei rms (root-mean-square) voltmeter, a-c (alternating current) tachometer, d-c (direct current) tachometer vor.

„X-Y plotter" und „U-tube" beziehen sich mit ihren Buchstaben auf das Koordinatensystem bzw. auf die äußere Gestalt des Rohres, die in diesem Fall U-förmig ist.

Die jeweiligen ZS-Äquivalente sind meist keine Abkürzungen, sieht man von „U-tube" ab, bei dem die Form des Rohres in beiden Sprachen als Motivation diente.

2.5. *Symbole und Zeichnungen als synonyme Zeichen*

Grafische Symbole und Zeichnungen sind nichtsprachliche Zeichen, die sprachlichen Zeichen gegenüber synonymen Charakter haben. Sie sind jedoch meist nicht als morphologische, sondern als syntaktische Synonyme anzusehen, da sie komplexe Sachverhalte darstellen, die mit Hilfe mehrerer Sätze beschrieben werden müssen [7].

Buchstabensymbole wie C, K sind als Abkürzungen von Vollformen zu betrachten, die in Formeln, Tabellen, Zeichnungen anstelle der Vollformen Verwendung finden. In den meisten Fällen sind sie in QS und ZS-Terminologie gleich. Probleme der Polysemie von Abkürzungen wie C haben wenig kommunikativen Einfluß, da dem Meßtechniker aus dem Textzusammenhang ersichtlich ist, welche Bedeutung von C er auszuwählen hat.

3. Morphologisch-semantische Position von „gage", seinen Teilsynonymen und den entsprechenden ZS-Äquivalenten

Synonymie in zwei Sprachen kann bedeuten:

1. Ein QS-Terminus hat mehrere synonyme ZS-Entsprechungen, z. B.: gage = Normalmaß, Normal, Eichmaß, Bezugs-

maß. Oder wenn Deutsch die QS ist: Blechlehre = gage, plate gage, sheet metal gage.

2. Mehrere synonyme QS-Termini haben mehrere synonyme ZS-Entsprechungen, z. B. strain gage, resistive strain transducer = Dehnungsmeßstreifen (DMS), Ohmscher Meßwandler für Dehnungsmessungen.

Synonyme Termini sind „resistive strain transducer" und „strain gage". Da sie den primären Meßwandlern (primary transducers) zugerechnet werden, müssen die primären Meßwandler als ihr Hyperonym angesehen werden. Tafel 1 stellt „gage" in seinen teilsynonymen Beziehungen zu anderen Meßmittel-Termini dar, die jeder Terminus aufgrund unterschiedlicher semantischer Klassifizierungsmöglichkeiten zu anderen Termini eingeht. Während „measuring device" und „measuring instrument" weitgehend synonym sind und „measuring installation" nur eine größere Gerätevariante darstellt, sind die Termini in der darunter folgenden Rubrik bereits durch einen schärfer begrenzten Definitionsinhalt und damit einen engeren Anwendungsbereich der Geräte gekennzeichnet.

Die Benennungen der unteren Rubrik sind nicht mehr gegenseitig substituierbar. Der Grad ihrer Synonymität ist unterschiedlich, „standard" und „prototype" wären am ehesten austauschbar. Die Termini für die drei Wandlerarten werden zwar häufig verwechselt bzw. nicht exakt verwendet, das bedeutet jedoch nicht, daß diese Geräte nicht ganz spezifische Eigenschaften hätten. „gage" und „transducer" liegen sich semantisch am nächsten in der Gruppe der Aufnehmer, während „sensor" und „pickup" zwar stark deckungsgleich sind, „gage" gegenüber jedoch hyperonymen Charakter aufweisen. Das heißt, sie sind wesentlich umfassender in ihrer Bedeutung als „gage".

Vom sprachwissenschaftlichen Standpunkt aus kann gesagt werden, daß viele Termini sowohl synonymen als auch polysemen Charakter, d. h. völlig unterschiedliche Bedeutungen, haben. Vom fachwissenschaftlichen Standpunkt sieht dies etwas anders aus. Je kleiner, je spezieller das Fachgebiet, desto determinierter der Terminus in der Fachliteratur, desto geringer die Polysemie des Terminus in den Augen des Wissenschaftlers, den nur die konkrete, seinem Fachgebiet zugeordnete Bedeutung des Terminus interessiert. Die Bedeutungen des Terminus, die für andere Fachgebiete relevant sind, läßt er dabei außer acht. Zum Beispiel ist es für einen Meßtechniker sicherlich ohne Interesse, daß „gage" auch zur Benennung der Nadelfeinheit verwendet wird (Tafel 2). Ihn interessieren die deutschen Äquivalente von „gage" (Lehre, Meßinstrument, Eichmaß) und deren Teilsynonyme.

Da DMS in der Meßtechnik in vielen unterschiedlichen Varianten verwendet werden, existiert eine Vielzahl von zwei- und mehrstelligen Komposita, die mit ihrem GW „gage" bzw. „strain gage" einen synonymen Inhalt aufweisen, der erst durch die unterschiedlichen BW semantisch modifiziert wird. In Tafel 3 werden die verschiedenen Wortbildungsmotivationen dargestellt, die zur Verwendung von BW führten, die unterschiedliche semantische Kriterien der verwendeten DMS hervorheben.

DMS, deren Formativ die Form eines DMS kennzeichnet, können z. B. spiralförmig, U-förmig angeordnet sein. Die zufällige Übereinstimmung der Anordnung des DMS mit dem großgeschriebenen Vokal „U" führt zur Verwendung eines Vokals

Tafel 1. „gage" im System der Meßmittel

Meßmittel measurement means				
Meßgerät measuring device	**Meßinstrument** measuring instrument	**Meßanlage** measuring installation		
Aufnehmer sensor pickup gage	**Anpasser** adapter amplifier	**Normale** standard prototype gage	**Wandler** transducer converter transmitter	**Ausgeber** indicator display

Tafel 3 (a): Komposita mit dem Grundwort „gage" bzw. „strain gage", geordnet nach semantischen Kriterien

(strain gage = resistive strain transducer
Dehnungsmeßstreifen = Ohmscher Dehnungsmeßwandler)

Form	**Aufbau**
spiral-foil strain gage DMS mit spiralförmig angeordneter Folie	encapsulated gage eingeschlossener DMS
four-element foil gege 4elementiger Folien-DMS	encapsulated dual element gage eingeschlossener doppelelementiger DMS
„U"-gage „U"-förmiger DMS basic flat-wire-grid strain gage Drahtgitter-DMS	bare gage offenliegender DMS
Material	**Einsatzart**
metal-foil strain gage Metallfolien-DMS	bonded strain gage befestigter DMS
thin-film metal strain gage Dünnfilm-DMS	bondable strain gage DMS, der besfestigt werden kann
semiconductor strain gage Halbleiter-DMS	unbonded strain gage unbefestigter DMS
resistive metal-wire strain gage resistiver Metalldraht-DMS active *n*-type gage DMS mit negativem *K*-Faktor active *p*-type gage DMS mit positivem *K*-Faktor	surface-transferable metal strain gage auf der Oberfläche verschiebbarer Metall-DMS
Anschluß	**Herstellungstechnologie**
plated-end gage DMS mit plattiertem Anschluß	deposited-metal strain gage DMS, bestehend aus abgelagertem Metall
soldered-end gage DMS mit gelötetem Anschluß weldable strain gage schweißbarer DMS	flame-sprayed strain gage flammenaufgesprühter DMS
Anwendungsgebiet	
stress-strain gage Spannungs-Dehnungs-DMS stress-strain foil gage Spannungs-Dehnungs-Folien-DMS	

Tafel 2. „gage" und seine deutschen Äquivalente, geordnet nach Sachgebieten

Technische Geräte						Meßgröße	Handlung
Meßmittel für Prüfzwecke						Tiefgang, Pegel — Schiffahrt Spindelteilung — Maschinenbau Spurweite — Textilindustrie Nadelfeinheit — Leichtindustrie Nadelmenge — Leichtindustrie Gauge — Textilindustrie	Eichung (Physik)
Lehre			Meßinstrument		Normalmaß	Eichmaß	
Draht-lehre	Blech-lehre	Meßuhr					
			Meßelement (Meßtechnik)	Prüfkopf	(Kontrolltechnik)		

als Bestimmung des Lexems „gage". Die DMS können offen auf einem Meßobjekt angebracht sein (bare). Sollen sie vor unerwünschten Beanspruchungen unterschiedlicher Art geschützt werden, werden sie z. B. einzementiert. Das heißt, sie werden eingeschlossen (encapsulated). „bare" und „encapsulated" sind also antonyme Bestimmungen zu „gage".

Die Kategorie „Anschluß" gibt Auskunft über die Möglichkeiten der Verbindung mit anderen Geräten. Es wird gesagt, ob der DMS durch Schweißen, Löten oder Plattieren mit anderen Geräten verbunden wird. In der Gruppe „Material" sind von besonderem Interesse der „*n*-type gage" und der „*p*-type gage". „*n*" steht für „negative gage factor, positive temperature coefficient" und leitet sich von „negative" ab. „*p*" ist abgeleitet von „positive" und steht für „positive gage factor and temperature coefficient" [16]. Beide Buchstaben fungieren als Formative für Sachverhalte, die nur mit Hilfe mehrerer Formative zu beschreiben wären, was wenig sprachökonomisch ist. Diese Art der Benennung wäre vergleichbar mit der durch Personennamen. Das heißt, die Buchstaben *n* und *p* haben Kodecharakter. „type", ein häufig auftretender Nullstellenterminus, hat keinen semantischen Inhalt und wurde, so ist anzunehmen, dem *n* beigefügt, um ihm sehr optischen Raum zu geben.

Ein „bonded strain gage" ist ein „bondable strain gage", da „The bondable strain gage is commonly refferred to as bonded strain gage since it is bonded, . . ." [16]. Anders ausgedrückt: Ein DMS kann nur auf dem Meßobjekt befestigt werden, wenn das Meßobjekt und der DMS dazu geeignet sind. „bondable" und „bonded" bedingen einander. Doch auch „unbonded" ist abhängig von „bondable". Ist der DMS nicht „bondable", muß er „unbonded" angebracht werden, d. h., er ist an den Enden befestigt, während er zwischen den beiden Enden freihängend ist. „bonded" und „unbonded" sind wiederum als Antonyme zu betrachten.

Ein „false friend" für den Sprachwissenschaftler, sicherlich aber auch für manchen Meßtechniker, sind die unter „Anwendungsgebiet" erfaßten Termini. „stress-strain" scheint die zweigliedrige Bestimmung zu gage zu sein und müßte normalerweise, wenn man nur die Gesetze der Kompositabildung beachtet, mit „Spannungsdehnung" übersetzt werden. Diese Übersetzung wäre falsch, denn mit Hilfe dieses DMS, der aus zwei DMS-Elementen besteht, kann man entweder Spannung oder Dehnung messen. Ein Schrägstrich wäre einer monosemierenden Wortbildung dienlicher als der irreführende Bindestrich.

Zusammenfassend kann gesagt werden, daß jeder Wissenschaftler, jeder Meßtechniker täglich mit Fragen der Synonymie konfrontiert wird. Oft ist es nicht möglich, scharfe semantische Trennlinien zwischen mehreren Teilsynonymen zu ziehen. Noch weniger einfach ist dies bei der Suche von geeigneten ZS-Äquivalenten für synonyme QS-Termini. Einige der dabei auftretenden Probleme sollten in diesem Beitrag von fachlicher und vor allem sprachwissenschaftlicher Seite her bewußt gemacht werden.

Literatur

[1] *Leisi, E.:* Praxis der englischen Semantik. Heidelberg: Carl Winter Universitätsverlag 1973.

[2] *Palmer, F. R.:* Semantics — a new outline. Cambridge: Cambridge University Press 1977.

[3] *Bondzio, W.* (Hrsg.): Einführung in die Grundfragen der Sprachwissenschaft. Leipzig: VEB Bibliographisches Institut 1980.

[4] *Schippan, T.:* Einführung in die Semasiologie. Leipzig: VEB Bibliographisches Institut 1975.

[5] *Golowin, B. N.:* Einführung in die Sprachwissenschaft. Leipzig: VEB Bibliographisches Institut 1976.

[6] *Helvetius, C.-A.:* Vom Menschen, von seinen geistigen Fähigkeiten und von seiner Erziehung. Berlin und Weimar: Aufbau-Verlag 1976.

[7] *Jesse, G.:* Eindeutige Begriffe, Bilder und Zeichen verbessern die Information. Firmenschrift „Meßwerte" Nr. 18.

[8] *Danilenko, W. P.:* Russkaja terminologija (Russische Terminologie). Moskva: Izd. „Nauka" 1977.

[9] *Hofmann, G.:* Zur Funktion der Suffixe -graph, -graphy, -scope, -scopy, -metry und -gram in technischen und meßtechnischen Termini. Forschungsergebnisse der Friedrich-Schiller-Universität Jena G/79/10.

[10] *Hofmann, G.:* Untersuchung zur Bezeichnung von Meßgeräten mit Hilfe des englischen Terminus „meter" in der Meßtechnik und anderen Wissenschaftsdisziplinen. Forschungsergebnisse der Friedrich-Schiller-Universität Jena G/79/7.

[11] *Oppelt, W.:* Der Ingenieur als Sprachschöpfer — Hoffnung oder Gefahr. Muttersprache 82 (1972) H. 2, S. 109—115.

[12] Frontplattenbeschriftung — warum nicht deutsch? Siemens Meßtechnikinformation 7/1979.

[13] Elektrische Meßgeräte. Geräte für Forschung, Entwicklung, Ausbildung und Service. Siemens-Katalog MP51, 1981.

[14] *Hofmann, G.:* Eigennamen in der deutschen und englischen Fachsprache der Meßtechnik. Forschungsergebnisse der Friedrich-Schiller-Universität Jena G/79/2.

[15] *Hofrichter, W.:* Zu Problemen der Abkürzungen in der deutschen Gegenwartssprache. Linguistische Studien, Reihe A, Nr. 44.

[16] *Norton, H.:* Handbook of Transducers for Electric Measuring Systems. Englewood: Prentice Hall Inc. 1969.

msr 7543

Doz. Dr. rer. nat. *J. Wilke*, Dipl.-Ing. *R. Hille*, Köthen, und Dipl.-Phys. *M. Horn*, Leipzig[1])

Experimentelle Untersuchung des dynamischen Verhaltens von betrieblichen IR-Gasanalysatoren

IA 3.2.4.2.

0. Einleitung

Die zunehmenden Forderungen an die Dynamik prozeßgekoppelter betrieblicher Analysenmeßeinrichtungen verstärken den Wunsch des Anwenders nach möglichst detaillierter Kenntnis der Eigenschaften der Analysatoren auch in Bereichen höherer Konzentrations-Wechselfrequenzen. Nachdem bereits in [1] und [2] dynamische Kennwerte für IR-Betriebsanalysatoren sowie für die dazugehörigen Gasentnahme- und Aufbereitungseinrichtungen angegeben wurden, konnten in [3] gewisse Grenzen der Gültigkeit dieser Kennwerte bei höheren Konzentrations-Wechselfrequenzen nachgewiesen werden.

Unter Annahme idealisierter Strömungsverhältnisse in der Meßküvette wurden Übertragungsfunktion und Frequenzgang berechnet. Es zeigte sich, daß in den Amplituden- und Phasenkennlinien in bestimmten Frequenzbereichen Minima und Maxima auftreten. Ihre Ursache sind Interferenzerscheinungen infolge der unterschiedlichen Laufzeiten der die Information tragenden Volumenelemente in der Küvette.

Es ist aber zu erwarten, daß die durchgeführten Berechnungen das reale dynamische Verhalten der IR-Analysatoren nur qualitativ beschreiben. Die Annahme einer reinen laminaren bzw. einer Pfropfenströmung in der Küvette ist aufgrund der konstruktiven Eigenheiten der Küvette nicht gerechtfertigt.

Die realen strömungstechnischen Verhältnisse experimentell zu ermitteln und in die theoretischen Modellbetrachtungen einzubeziehen, ist aufwendig und nur näherungsweise möglich. Daher soll durch diesen Beitrag experimentell geklärt werden, ob der

[1]) Mitteilung aus der Ingenieurhochschule Köthen, Sektion Anlagenbau, WB Automatisierungstechnik, und dem VEB Chemieanlagenbaukombinat Leipzig-Grimma, Abt. Anlagenentwicklung IV, Leipzig.

theoretisch nachgewiesene, bisher in der Literatur noch nicht beschriebene Effekt des Auftretens von Extrema im Frequenzgang der IR-Analysatoren auch bei realen Strömungsverhältnissen auftritt.

1. Versuchsanordnung

Die in [3] ermittelten Maxima und Minima in den Frequenzkennlinien sind vor allem bei großen Küvettenlängen zu erwarten. Für die experimentellen Untersuchungen wurde dafür ein Infralyt 2 T so umgerüstet, daß der Einsatz von Küvetten mit den Längen 200 mm und 270 mm möglich ist. Zur Herstellung eines stabilen Meßgasstromes mit niedriger CO_2-Konzentration bewährte sich die im Bild 1 dargestellte Anordnung. Hierbei wird das in der Luft enthaltene CO_2 als Meßgaskomponente verwendet, dessen Konzentration wurde durch einen Bypaß realisiert, in dem durch Reihenschaltung zweier Absorber sämtliches CO_2 aus der Luft entfernt wird. Die Einstellung des Mischungsverhältnisses von CO_2-haltiger und CO_2-freier Luft erfolgt durch eine durchflußgeregelte Drossel mit Schwebekörperanzeige im Bypaß. So ist es möglich, für alle Messungen etwa das gleiche Produkt aus Konzentration und Küvettenlänge einzustellen, um bei etwa 75% des Meßbereichsendwertes des Infralyts und damit im linearen Teil der Kennlinie zu arbeiten. Die beiden Testsignale, Sprungfunktion und sinusförmige Konzentrationsänderungen, wurden mit einem Laminarwiderstand erzeugt. Dieser ähnelt in seiner Funktion einem Potentiometer und ändert, je nach Stellung des „Mittelabgriffs", das Mischungsverhältnis von Luft mit einer konstant eingestellten CO_2-Konzentration und Stickstoff. Beide Zuleitungen wurden auf gleiche Höhe abgetaucht, wodurch ein gleicher und konstanter Vordruck gewährleistet war. Über die Höhe der Abtauchung wurden außerdem die zu realisierenden Durchflüsse eingestellt, die am Ausgang der Küvette mit einem Strömungsmesser bestimmt wurden. Die Verstellung des Laminarwiderstandes erfolgte mit einem KB-Schreiber, dessen Antrieb über ein Getriebe starr mit dem Laminarwiderstand verbunden war.

Das Eingangssignal des Schreibers wurde mit einem Sinusgenerator und einem nachgeschalteten Verstärker erzeugt. Die relative Veränderung des Eingangssignals wurde auf der Skale des KB-Schreibers gemessen, die eine lineare Teilung 0 ... 100% aufweist. Zur Registrierung des Infralyt-Ausgangssignales diente ein zweiter Kompensationsbandschreiber. Sämtliche Schlauchverbindungen wurden zwecks Minimierung der Laufzeiten so kurz wie möglich gehalten.

Eine sinnvolle Auswertung der Sprungantwort setzt Linearität der statischen Kennlinie des Laminarwiderstandes voraus. In Vorversuchen wurde durch Ändern der Relativstellung des Laminarwiderstandes zum Schreiberantrieb der lineare Arbeitsbereich eingestellt.

Die Aufgabe des Konzentrationssprungs erfolgte von Hand. Zur sicheren und schnellen Einstellung dienten ein oberer und unterer, den Arbeitsbereich begrenzender Anschlag auf der Schreiberskale.

2. Versuchsdurchführung

Die Versuche wurden bei Durchflüssen von 5, 10, 30 und 60 $l \cdot h^{-1}$ durchgeführt, um den Einfluß der Strömungsgeschwindigkeit auf die Dynamik erfassen zu können.

Da die Papiervorschübe der verwendeten Schreiber mit den vom Hersteller angegebenen Werten sehr gut übereinstimmten (max. Abweichung 2%), konnte die Frequenz über die auf dem Papier gemessene Schwingungsdauer berechnet werden. In gleicher Weise wurde das Amplitudenverhältnis x_a/x_e ebenfalls durch Ausmessen der von beiden Schreibern registrierten Schwingungen gewonnen.

Zur Ermittlung des Phasenwinkels φ wurden bei Erreichen des oberen und unteren Totpunktes der Eingangsschwingung auf dem Papier Marken gesetzt.

Der Phasenwinkel φ berechnet sich aus der zeitlichen Verzögerung der Ausgangsschwingung t_V, der Laufzeit des untersuchten Systems T_L und der Schwingungsdauer T gemäß Gleichung:

$$\varphi = 2\pi \frac{t_V - T_L}{T}.$$

Alle Messungen zur Ermittlung der Amplituden- und insbesondere der Phasenkennlinien wurden mehrfach, d. h. an verschiedenen Stellen der Schwingungen, vorgenommen, um die aus dem Meßprinzip resultierenden Fehler auf dem Wege der Mittelwertbildung in vertretbaren Grenzen zu halten.

Aus Zweckmäßigkeitsgründen wurde als Eingangsgröße die prozentuale Verstellung auf der Schreiberskale und als Ausgangsgröße der Zeigerausschlag in mm gewählt.

3. Diskussion der Ergebnisse

3.1. Sprungantwort

Die Auswertung der Sprungantworten durch Approximation auf ein lineares Glied nach Abspaltung der Laufzeit wurde mehrfach versucht [1] [2] und [4]. In [2] konnten zur Beschreibung des dynamischen Verhaltens des Infralyts einschließlich Schreiber die besten Näherungen durch Ansatz eines Verzögerungsgliedes n-ter Ordnung mit 2 dominierenden und $n - 2$ kleinen Zeitkonstanten erhalten werden.

Ein solches Modell ist schwer zu handhaben, daher wurde in [4] die Näherung als PT_3T_L-Glied betrachtet. Die Sprungantwort dafür ergibt sich aus

$$x_a(t) = x_{ao}\left[1 - e^{-t/T}\left(1 + \frac{t}{T}\left(1 + \frac{t}{2T}\right)\right)\right].$$

Die Verzögerungszeitkonstante T wurde als arithmetischer Mittelwert der Zeitkonstanten berechnet, die sich aus den in [5] angegebenen Zeitprozentverhältnissen ergibt. Die Übereinstimmung mit dem experimentell aufgenommenen Verlauf ist zwar befriedigend, widerspiegelt aber eben nicht das in der Realität vorliegende Systemverhalten. Im Bild 2 ist zur Verdeutlichung der Ergebnisse die experimentell ermittelte Sprungantwort den durch Approximation als PT_2-, PT_3-Glied erhaltenen Verläufen

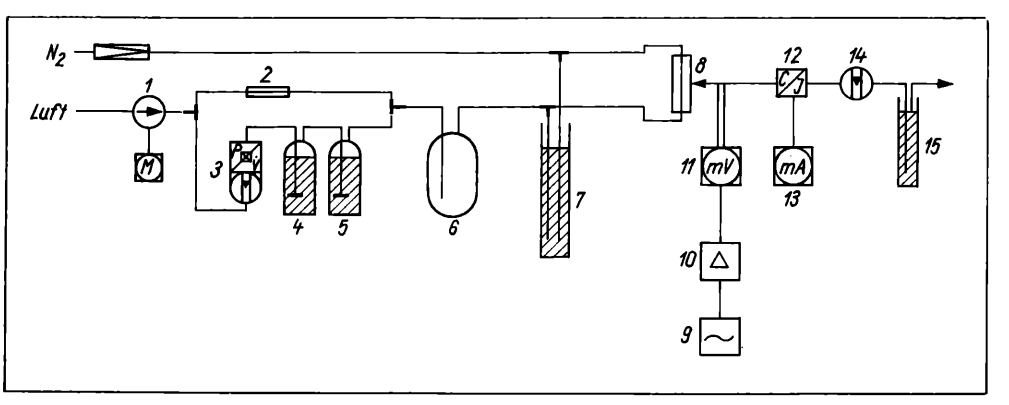


Bild 1. Baugliedplan der Versuchsanordnung

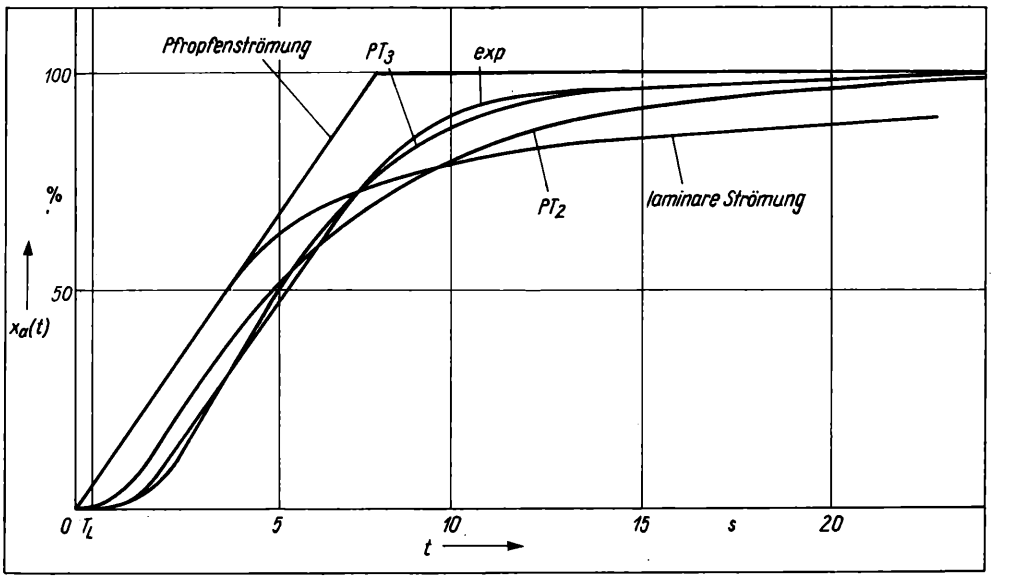


Bild 2. Gegenüberstellung der experimentell ermittelten Sprungantwort einer 270 mm-Küvette mit den approximierten PT_2T_L, PT_3T_L und den für Pfropfenströmung und laminare Strömung berechneten Sprungantworten

gegenübergestellt. Außerdem wurden die gemäß [3] zu erwartenden Sprungantworten bei laminarer bzw. Pfropfenströmung in der Küvette eingezeichnet. Bereits aus einer rein qualitativen Betrachtung lassen sich eine Reihe von Schlußfolgerungen ziehen. Nach Überschreiten der Verzugszeit T_u weisen alle experimentell aufgenommenen Sprungantworten bis etwa 75% des Endwertes einen annähernd geradlinigen Verlauf auf. Diese Eigenschaft ist für Sprungantworten von Übertragungsgliedern mit PT_n-Struktur nicht typisch. Die Sprungantwort der laminar durchströmten Küvette weist im Bereich von 0 bis $\tau/2$ ($\triangleq$ etwa 60% des Endwertes) gleichfalls einen konstanten Anstieg auf. Die Sprungantwort für Pfropfenströmung stellt eine Gerade dar und strebt damit nicht asymptotisch ihrem Endwert zu, sondern erreicht ihn bereits bei $T = \tau$. Sie verläuft in einem noch größeren Abschnitt parallel zur experimentellen Sprungantwort.
Außerdem wäre zu erwarten, daß die experimentellen Sprungantworten infolge des Einflusses zusätzlicher Zeitverzögerungsglieder den statischen Endwert bedeutend langsamer erreichen als die für laminare Strömung berechneten. Das ist jedoch nicht der Fall. Im betrachteten Zeitbereich bleibt die theoretische Sprungantwort noch etwa 10% unter dem statischen Endwert des Gesamtsystems.

Die in [3] aus den theoretischen Berechnungen postulierten Besonderheiten im dynamischen Verhalten zeigen sich bereits bei einer genauen Analyse der Sprungantworten. Es ist zu erwarten, daß diese Abweichungen noch gravierender werden, wenn man die durch Approximation auf ein lineares Glied erhaltenen Kennwerte ohne Einschränkung auf den Frequenzbereich überträgt, wie das in [1] und [2] erfolgte.

3.2. Frequenzganganalyse

Nach den in [3] aus den physikalischen Gesetzmäßigkeiten abgeleiteten Beziehungen ist der Amplitudengang des Infralyt eine Funktion von

$$u = \frac{\omega \cdot \tau}{2},$$

wobei ω die Kreisfrequenz und τ die Verweilzeit des Meßgases in der Küvette ist. Die experimentell aufgenommenen und im Bild 3 auszugsweise dargestellten charakteristischen Verläufe bestätigen, daß die Amplitudenkennlinien auch bei realen Strömungsverhältnissen in der Küvette mit zunehmender Frequenz

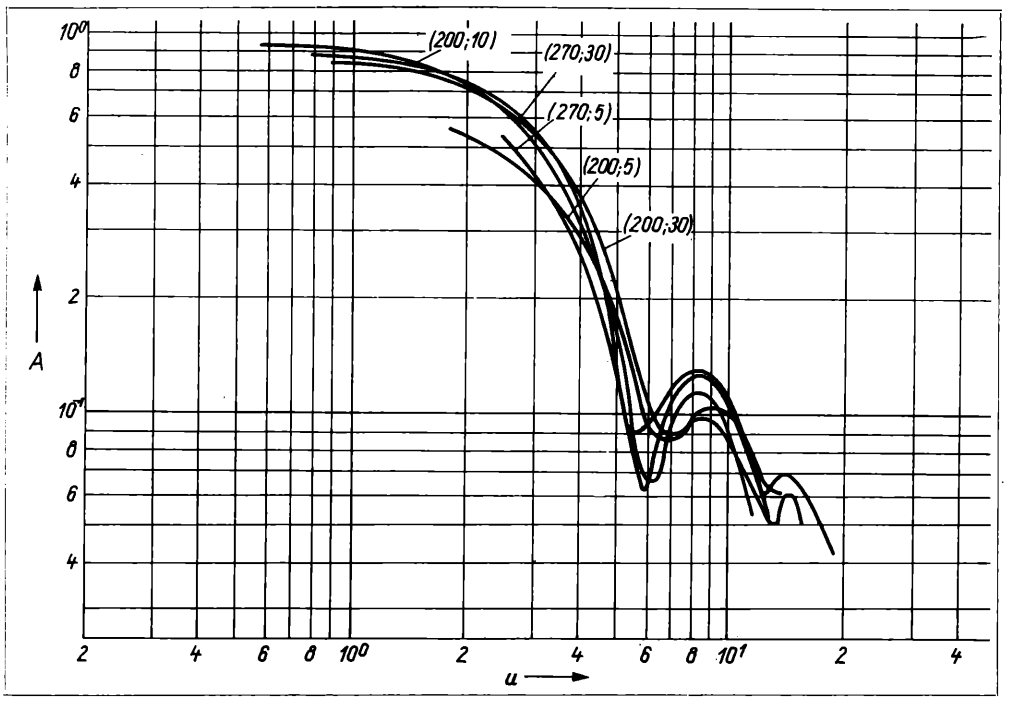


Bild 3. Darstellung der experimentell ermittelten normierten Frequenzgänge mit den Parametern (L; $\dot{V}$)

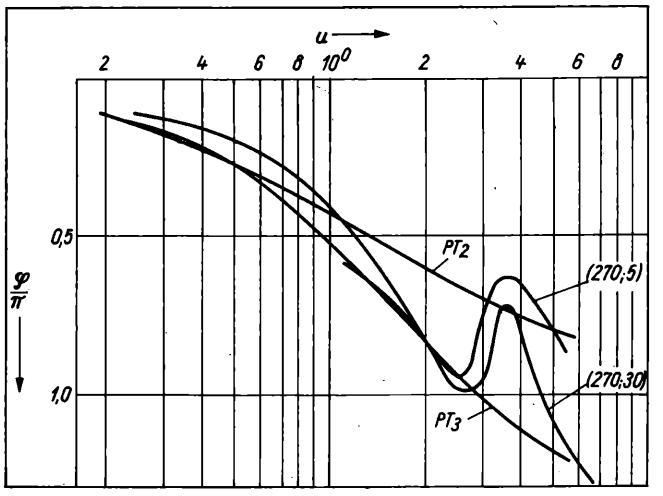


Bild 4. Gegenüberstellung der experimentell ermittelten Phasenkennlinien mit den Parametern (L; $\dot{V}$) mit den Phasenkennlinien eines PT_2- und PT_3-Gliedes

nicht monoton fallen, sondern bei bestimmten Frequenzen Minima und Maxima aufweisen.

Ist u die einzige, den Verlauf der Amplitudenkennlinie beeinflussende Größe, so müssen die in den verschiedenen experimentellen Amplitudenkennlinien auftretenden, sich entsprechenden Extremwerte den gleichen Wert für u haben. Aus Tafel 1 geht hervor, daß dies mit sehr geringen Abweichungen durch die Experimente bestätigt wird.

Die Überprüfung der aus Bild 4 ermittelten Extrempunkte der Phasenkennlinien auf Gleichheit von u brachte ebenfalls eine gute Übereinstimmung (Tafel 2).

Die Lage der Amplitudenkennlinie in Ordinatenrichtung wird durch den während einer Messung konstanten Faktor $\frac{1}{2}\pi \cdot i_{0\lambda} \cdot \varepsilon_\lambda \cdot R^2 \cdot c_0 \cdot L$ bestimmt. Dabei sind $i_{0\lambda}$ die Intensitätsdichte der Strahlung am Küvetteneingang, ε_λ der Extinktionskoeffizient, λ die Wellenlänge, R der Radius und L die Länge der Küvette sowie c_0 die Eingangskonzentration bei Nulldurchgang der Konzentrationsschwingung.

Tafel 1. Gemessene Werte für $u = \frac{\omega \cdot \tau}{2}$ an den Extremstellen der Amplitudenkennlinien für verschiedene Meßgasdurchflüsse $\dot{V}$ und Küvettenlängen L

L	$\dot{V}$	$u = \frac{\omega \cdot \tau}{2}$	
mm	$l \cdot h^{-1}$	1. Minimum	1. Maximum
200	5	3,3	4,45
	10	3,1	4,34
	30	3,4	4,32
270	5	3,15	4,35
	30	3,24	4,37
	Mittelwert:	3,24	4,37

Tafel 2. Gemessene Werte für u an den Extremstellen der Phasenkennlinie für verschiedne Meßgasdurchflüsse $\dot{V}$ bei gleicher Küvettenlänge L

L	$\dot{V}$	$u = \frac{\omega \cdot \tau}{2}$	
mm	$l \cdot h^{-1}$	1. Minimum	1. Maximum
270	5	2,7	3,03
270	30	2,75	3,63

Da versucht wurde, für alle Messungen das Produkt $c_0 \cdot L$ konstant zu halten, wäre zu erwarten, daß auch die Werte des Amplitudengangs in den betrachteten Extrempunkten übereinstimmen. Hier bestehen jedoch relativ starke Abweichungen. Da der ermittelte Amplitudengang sich aus der Reihenschaltung mehrerer Übertragungsglieder ergibt, deren Übertragungsverhalten selbst eine Funktion der Kreisfrequenz ω ist, unterscheiden sich die Extremwerte.

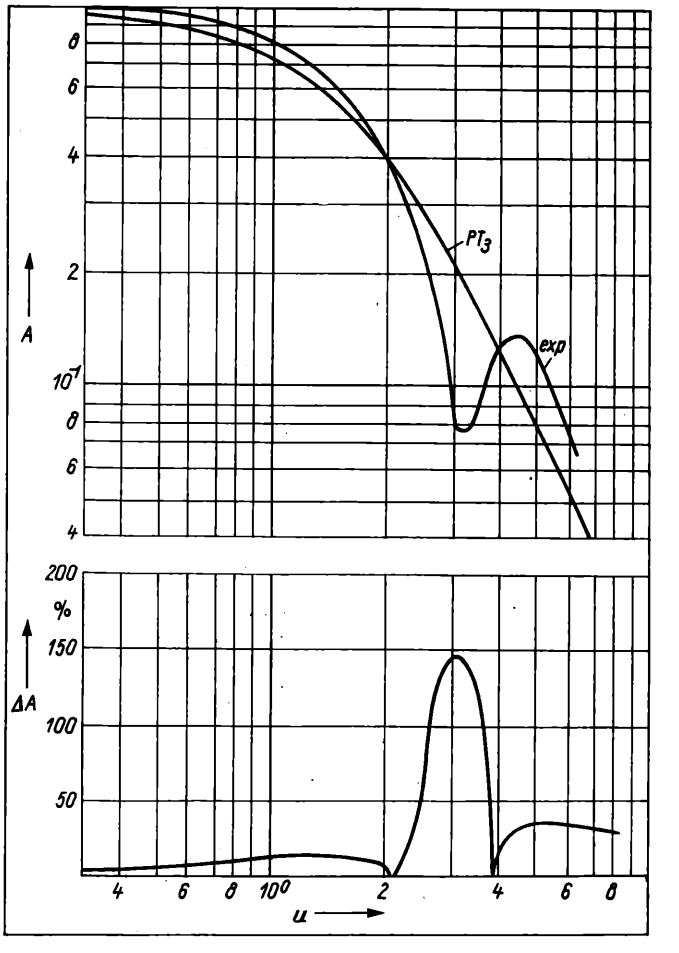
Aus diesem Grunde wurde die Dynamik des Schreibers experimentell und die der Schlauchleitung nach [6] bestimmt. Faßt man diese beiden Übertragungsglieder als T_2-System auf und berechnet die Amplituden- bzw. Phasenkennlinien, so kann man diese von den experimentell ermittelten Kennlinien des Gesamtsystems subtrahieren.

Die so gewonnenen Kennlinien des Infralyts selbst wurden über lg u aufgetragen (Bilder 5 und 6).

In dieser Darstellung zeigt sich, daß die Kennlinien für verschiedene Durchflüsse und Küvettenlängen annähernd den gleichen Verlauf haben. Die Fehler, die aus einer Approximation auf ein lineares Übertragungsglied resultieren, sind in diesen Bildern ebenfalls dargestellt. Daraus ist zu erkennen, daß die Fehler für kleine Werte von u unter 10% bleiben und damit relativ gering sind. Bei Werten von $u > 1{,}6$ im Phasengang bzw. $> 2{,}3$ im Amplitudengang wird dieser Fehler weit überschritten. Die größten ermittelten Abweichungen betragen 60% beim Phasengang und 150% beim Amplitudengang.

Ein Vergleich der experimentell ermittelten Kennlinien mit den in [3] theoretisch berechneten, kann ebenfalls nur qualitativ erfolgen, da die Dynamik des Infralyts nicht ausschließlich von

Bild 5. Darstellung des experimentellen Amplitudenganges und des Amplitudenganges eines PT_3-Gliedes als Funktion von u nach Eliminierung des Einflusses von Schreiber und Schlauchleitung bei gleichzeitiger Angabe des relativen Fehlers der linearen Näherung



Programmierbare nichtnumerische Steuerungen (XVI)[1)]

Dr.-Ing. *G. Roland*, Karl-Marx-Stadt

Programmierbares Steuerungs- und Baugruppensystem PS 2000

IA 1.1.1.2.; 2.4.1.1.

In der Ungleichung $nt_E > t_Z$ bringt der Faktor n zum Ausdruck, wie oft der logische Komplex mit zeitkritischen Informationen innerhalb des Gesamtprogrammes angeordnet werden muß. Die Programmierung muß in der Reihenfolge

— Eingabe der zeitkritischen Eingangsinformationen
— Programmierung des logischen Komplexes und
— Ausgabe der zeitkritischen Ausgangsinformationen

durchgeführt werden.

Bei Anwendung des D-Registers sind nur die beiden Transportoperationen LE und TA zulässig, die folgende Bedeutung erhalten:

LE — direkte Eingabe — Laden des Wertes einer vom Adreßteil definierten Prozeßeingangsinformation in die zugeordnete Zelle des Eingangsadressenbereiches des Arbeitsspeichers

TA — direkte Ausgabe — Transport des Wertes einer vom Adreßteil definierten Zelle des Ausgangsadressenbereiches des Arbeitsspeichers zum zugeordneten Ausgabespeicher und damit zum Prozeß.

Die Programmierung des D-Registers wird an einem Beispiel erläutert (Bild 51).

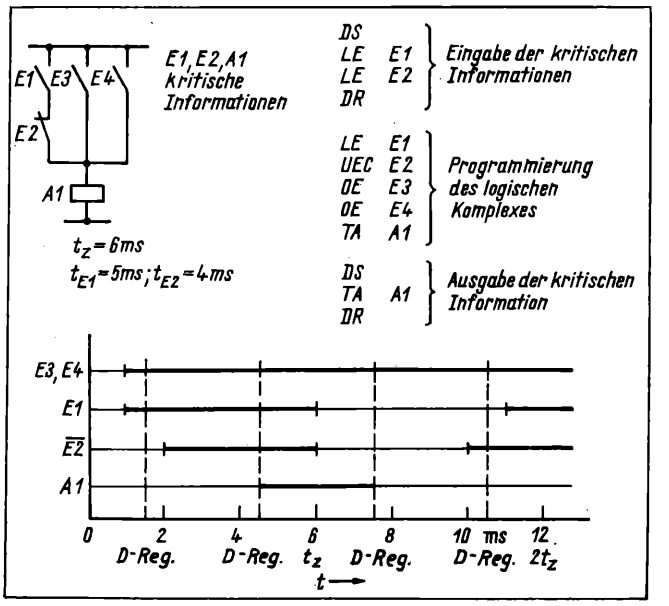
Das Gesamtprogramm des Beispiels verfügt über eine Zykluszeit von $t_Z = 6$ ms.

Die beiden zeitkritischen Eingangsinformationen haben eine Signaldauer von $t_{E1} = 5$ ms und $t_{\overline{E2}} = 4$ ms bei einem Tastverhältnis von 1.

Daraus ergibt sich für die Häufigkeit der Programmierung des logischen Komplexes mit dem D-Register: $n > \frac{t_Z}{t_{\overline{E2}}} = \frac{6\text{ ms}}{4\text{ ms}} = 1{,}5.$

[1)] Teil XV erschien im Heft 4/1982.

Bild 51. Anwendung des D-Registers



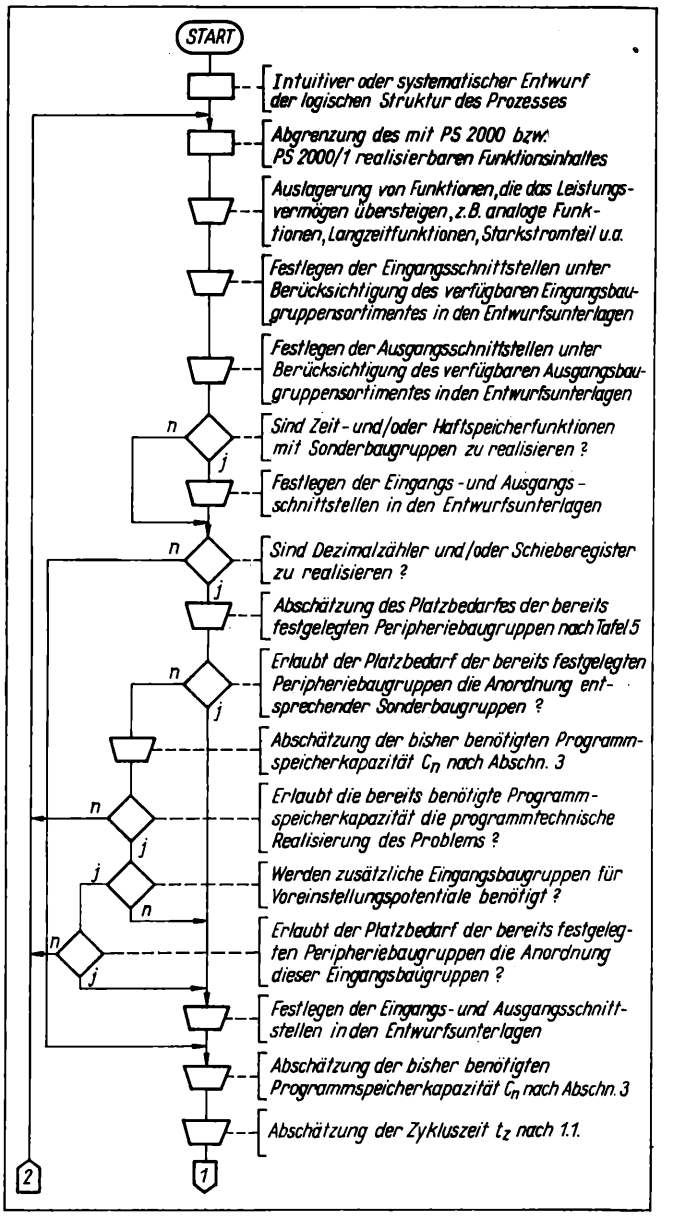


Bild 52. Projektierung, Teil 1

Der Komplex wird im Gesamtprogramm zweimal so angeordnet, daß annähernd gleiche Zeitintervalle zwischen den Komplexen entstehen. Das Zeitdiagramm im Bild 51 zeigt, daß die zeitkritischen Eingangsinformationen in jedem Zyklus zuverlässig erfaßt werden. Die zeitkritische Ausgangsinformation ist unabhängig von der Verarbeitungsphase 3 sofort nach der Berechnung prozeßseitig verfügbar.

3. Projektierung

Programmierbare Steuerungen werden so konzipiert, daß ihre Hardware problemunabhängig gefertigt werden kann. Zur Realisierung der Steuerungsaufgaben eines bestimmten Prozesses bedarf es der Auswahl geeigneter Konstruktions- und Peripheriebaugruppen sowie der Durchführung der Programm-

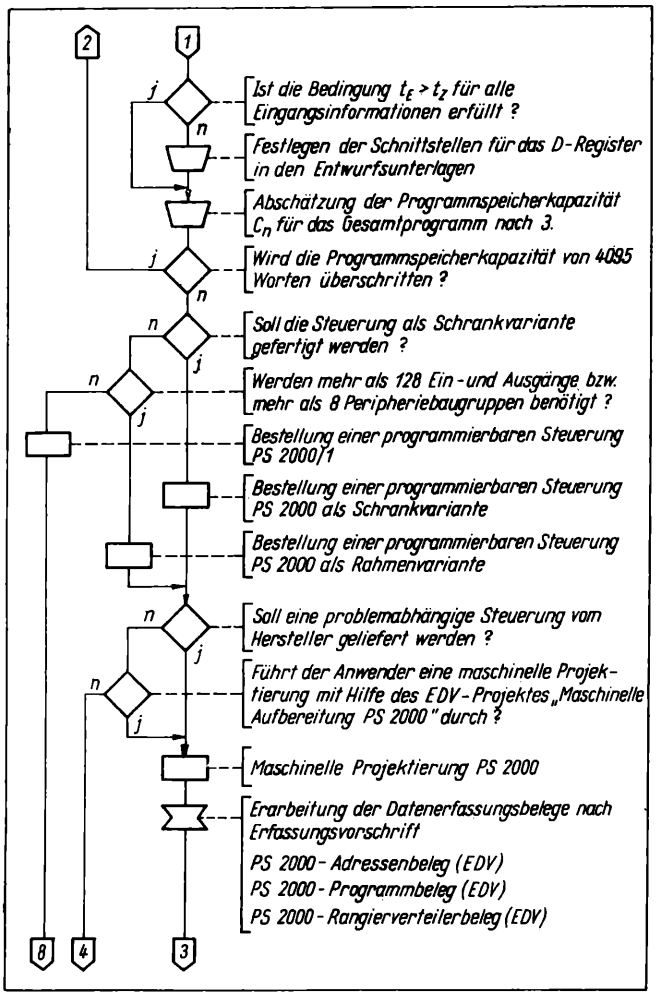


Bild 53. Projektierung, Teil 2

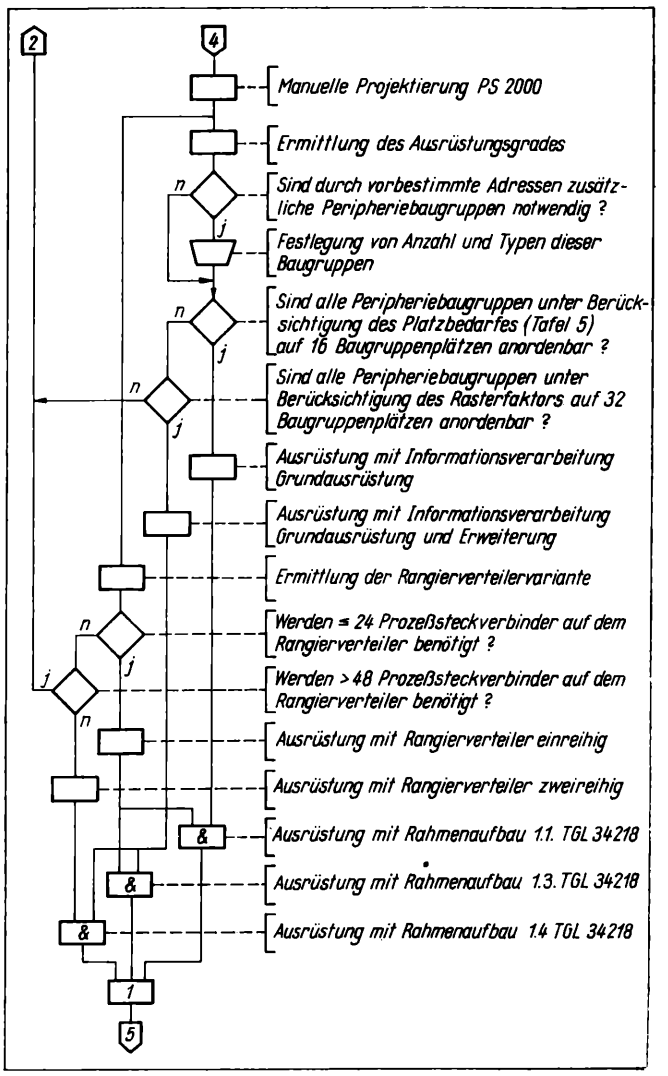


Bild 54. Projektierung, Teil 3

aufbereitung. Der Ablauf dieser Arbeitsgänge für die programmierbaren Steuerungen PS 2000 und PS 2000/1 ist Gegenstand ihrer Projektierung. Die wesentlichsten Ergebnisse sind die Zuordnung der externen Prozeßsignale zu den internen Adressen, das Wandeln des problemorientierten Programmes in den internen Kode sowie die Erarbeitung von Dokumentation und Datenträgern für die Fertigung und Inbetriebnahme.

Aufgrund der universellen Anwendbarkeit der programmierbaren Steuerungen PS 2000 und PS 2000/1 mußte von Anbeginn mit hohen Stückzahlen bei einer großen Typenvielfalt gerechnet werden. Zur Bewältigung der vor dem Steuerungshersteller stehenden Aufgaben der Projektierung dieser Erzeugnisse galt es, im Interesse minimalen Arbeitszeitaufwandes und hoher Qualität ein maschinelles Projektierungsverfahren zu schaffen. Gleichzeitig war die Forderung zu erfüllen, die manuelle Projektierung beim Steuerungsanwender zu sichern. Beide Verfahren werden nachfolgend erläutert.

Die Projektierungsvorschriften PS 2000 und PS 2000/1 sowie der Erzeugnisstandard TGL 34218 bilden die Grundlage zur Durchführung dieses Arbeitsganges, da sie wesentliche Richtlinien und Hinweise enthalten. Besondere Beachtung verdienen die Hinweise zur störsicheren Anordnung der programmierbaren Steuerungen im Gesamtkomplex der elektrotechnischen Ausrüstung. Bei Anwendung der Rahmenvarianten PS 2000 oder des Baugruppenträgers PS 2000/1 sind die gegebenen Hinweise zur Einsatzklasse unbedingt zu berücksichtigen.

Die manuelle Projektierung wird durch die zugehörigen Programmablaufpläne verdeutlicht (Bilder 52 bis 57)[2]).

Neben der Abgrenzung des mit PS 2000 bzw. PS 2000/1 realisierbaren Funktionsinhaltes sind folgende Abschätzungen notwendig:

— Platzbedarf der Peripheriebaugruppen (Tafel 5, H. 6/1981)

Programmierbare Steuerung PS 2000

Es stehen maximal 32 Peripheriebaugruppenplätze zur Verfügung, davon 26 Plätze im Rastermaß 20 mm und 6 Plätze im Rastermaß 40 mm. Auf einem Rasterplatz 40 mm kann eine Baugruppe mit dem Platzbedarf von 20 mm angeordnet werden, während für eine Baugruppe mit 40 mm Platzbedarf zwei Rasterplätze 20 mm notwendig sind. Bei der Projektierung sind folgende Bedingungen zu erfüllen:

Σ Peripheriebaugruppen $\leqq 32$

Σ Platzbedarf der Peripheriebaugruppen in mm $\leqq 760$ mm

Programmierbare Steuerung PS 2000/1

Es stehen maximal 8 Peripheriebaugruppenplätze im Rastermaß 20 mm zur Verfügung. Es sind vorzugsweise Peripheriebaugruppen mit 20 mm Platzbedarf und hoher Adressenauslastung (maximal 16 bit) einzusetzen, um das verfügbare Platzangebot optimal zu nutzen.

Bei der Projektierung sind folgende Bedingungen zu erfüllen:

Σ Peripheriebaugruppen $\leqq 8$

Σ Platzbedarf der Peripheriebaugruppen in mm $\leqq 160$ mm

[2]) Die Bilder 55, 56 und 57 erscheinen im Heft 6/1982.

msr 7177 (wird fortgesetzt)

Dr.-Ing. *R. Wolf* und Dipl.-Ing. *K. Fiedler*, Magdeburg

Elektronische Schaltungen der Automatisierungstechnik (39)[1)]

Analog-Digital- und Digital-Analog-Umsetzer

3.3.2. Verfahren mit stufenweiser Substraktion

Entsprechend der bit-Zahl n des Digitalworts ist eine Kette von n gleichartigen Direktumsetzern aufgebaut, wobei jeder Umsetzer ein bit ausgibt. Dazu wird für jede Stelle der zur Ausgabe gelangenden Dualzahl die Eingangsspannung U_E mit einer Vergleichsspannung $U_v > 0{,}5U_E$ verglichen. Für $U_E - U_v \geqq 0$ ist der entsprechende Stellenwert L, für $U_E - U_v < 0$ ist er 0. Um die Wertigkeiten der einzelnen Stellen zu erhalten, ist zwischen den Umsetzern jeweils ein Verstärker mit einer Verstärkung von 2 angeordnet. Damit arbeiten alle Stufen des Umsetzers mit dem gleichen Eingangssignalbereich (Bild 28). Es werden Genauigkeiten bis 0,005% bei hohen Umsetzgeschwindigkeiten (10 µs) erreicht. Der Aufwand ist allerdings sehr hoch.

4. Wichtige Kenngrößen von A/D- und D/A-Umsetzern [13]

4.1. Systemeigenschaften

Aus der Wahl des Umsetzverfahrens und der speziellen Auslegung ergeben sich grundsätzliche Eigenschaften der Umsetzer. Entsprechend der gewählten Quantisierungseinheit, d. h. des Eingangssignalbereichs, der auf einen Quantisierungsschritt (1 LSB) abgeleitet wird, resultiert ein Quantisierungsfehler aus der endlichen Auflösung des Umsetzers (siehe Bild 1). Er beträgt mindestens $\pm 1/2$ LSB.

Ausgehend vom zulässigen Aussteuerbereich des Umsetzers kann der zugehörige Eingangs- Signalbereich als Meßbereich definiert werden.

Das dynamische Verhalten wird durch die Zahl der nötigen Umsetzschritte und die Zeit je Schritt bestimmt. Die ideale Einschwingzeit ergibt sich aus der theoretischen Umsetzzeit für eine Genauigkeit kleiner 1 LSB. Real ist die Einschwingzeit von der Gesamtordnung abhängig, in der der Umsetzer eingesetzt ist (Filter usw.).

Mit Apertur wird die Unsicherheit des Zeitpunktes der Abtastung der Meßgröße bei Montanwertumsetzern bezeichnet. Ändert sich die Eingangsgröße während der Umsetzung, entsteht ein Aperturfehler, der durch Abtast-Halte-Schaltungen beseitigt werden muß.

4.2. Kennlinienfehler

Zusätzlich zum Quantisierungsfehler besitzt jede Umsetzerkennlinie weitere Fehler, deren Gesamtheit die Genauigkeit des Umsetzers bestimmt. Es entsteht die reale Kennlinie (Bild 29). Der Offset stellt den Nullpunktversatz dar, also eine Verschiebung der Kennlinie, die sich durch automatische Nullpunktkorrektur beseitigen läßt.

Die Steilheit der Kennlinie wird durch den Umsetzungskoeffizienten (Konversionsfaktor) des Umsetzers charakterisiert. Ein Fehler führt zu einer Drehung der Kennlinie (Verstärkungsfehler). Die Abweichung der Kennlinie von einer Geraden durch ihren realen Anfangs- und Endwert ergibt den Linearitätsfehler (Nichtlinearität). Zusätzlich wird eine differentielle Nichtlinearität definiert. Diese besteht in der Abweichung der Differenz zweier benachbarter Quantisierungsstufen vom Sollwert (1 LSB). Ist die differentielle Nichtlinearität bei steigendem Eingangssignal größer als -1 LSB, ist die Kennlinie nicht mehr monoton, d. h. bei steigendem Eingangssignal fällt das Ausgangssignal.

5. Herstellungstechnologien

Die Vielzahl der betrachteten Verfahren für D/A- und A/D-Umsetzer und die unterschiedlichen Anforderungen an deren technische Daten bedingen eine weite Palette zur Anwendung kommender Herstellungstechnologien, wenn jeweils optimale Ergebnisse erreicht werden sollen. Die folgenden Betrachtungen sollen einen kurzen Überblick über entsprechende Technologien geben.

Zur Auswahl einer geeigneten Technologie ist von den Forderungen an Präzisionsbauelemente, der Komplexität der Schaltungen, der Arbeitsgeschwindigkeit usw. auszugehen. Neben den monolithischen Techniken besitzt auch die Schichttechnologie bei der Anwendung in Hybridbausteinen noch ihre Bedeutung. Dabei spielt die Stückzahl eine Rolle. Während monolithische Schaltkreise erst ab 100000 Stück kostengünstig gefertigt werden, beträgt die Mindeststückzahl für Hybridbausteine in Serienfertigung 1000 Stück.

Dabei sind international Entwicklungs- und Produktionsüberleitungszeiten von ein bis drei Monaten üblich. Gegenüber Leiterplatten erreichen Hybridbausteine neben einem geringeren Volumen eine höhere Zuverlässigkeit wegen des prinzipiell höher getriebenen technologischen Aufwands [17].

5.1. D/A-Umsetzer

Bei den beschriebenen D/A-Umsetzern kommt es auf guten Gleichlauf der Bauelemente an, die die einzelnen Wertigkeiten bestimmen (geringe Relativtoleranzen). Das läßt sich erreichen, wenn Schaltungsstrukturen mit nur geringer Variation der Absolutwerte der entsprechenden Bauelemente verwendet werden (Bild 4a, 5b). Eine günstige Realisierung ergibt sich durch die

[1)] Mit dieser Fortsetzung ist die Beitragsfolge beendet. Die Redaktion bedankt sich bei den Autoren.

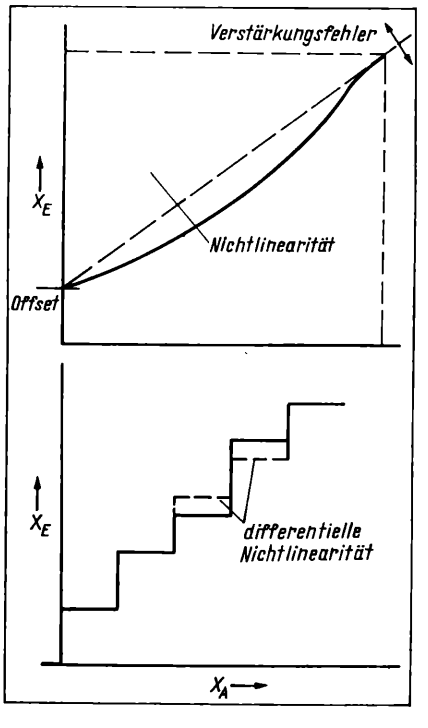


Bild 29. Kennlinienfehler von A/D- und D/A-Umsetzern

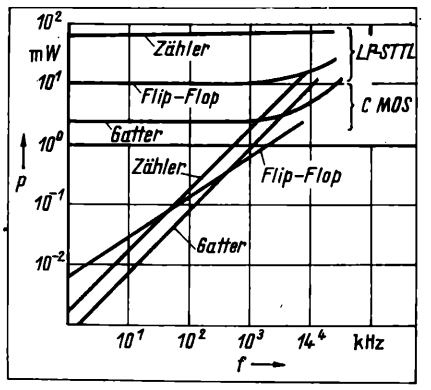


Bild 30. Leistungsumsatz von Logikschaltungen

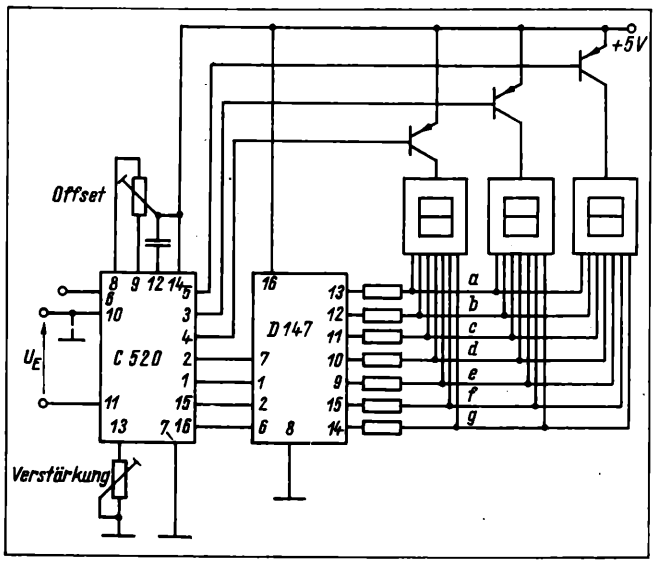


Bild 31. Digitalvoltmeter mit dem integrierten ADU C 520

Tafel 3. Daten des C 520 (= AD 2020 von Analog Devices)

Einchip-ADU (3 digit) in I^2L-Technik	
Betriebsspannung:	+5 V
Velustleistung:	50 mW
Ausgang:	serieller-BCD-Ausgang (multiplex)
Eingang:	Differenzeingang −99 mV ... +999 mV
Eingangskennwerte:	Fehler 0,1% ±1 LSB
	Gleichtaktaussteuerung = 200 mV
	Offsetdrift 10 µV/K (typ. abgeglichen)
	Verstärkungsdrift 50 · 10^{-6}/K (typ., abgegl.)
	Eingangsimpedanz 100 MOhm
	Bias-Strom 110 nA
	Umsetzrate 3,5/s bzw. 70/s

Kombination von Widerstandsnetzwerken in Schichttechnik mit speziellen Halbleiterchips zu Hybridbausteinen. Mit Widerstands- Kettenleitern einer absoluten Toleranz von 0,1% lassen sich Zwölf-bit-D/A-Umsetzer realisieren [16]. Die elektronischen Schalter werden vorteilhaft in MOS-Technik hergestellt. Durch ihren rein ohmschen Charakter (kein Speichereffekt, keine Fehlspannungen und Fehlspannungsdriften, keine Stromrichtungsabhängigkeit) mit Einschaltwiderständen von etwa 10 Ω kommen sie bei Verwendung von Widerständen um 10 kΩ dem idealen Schalter sehr nahe. Der geringe Leistungsumsatz der MOS-Schaltungen (speziell bei Verwendung der komplementären, als CMOS bezeichneten Technik) sichert geringe Gesamtverlustleistung der Schaltung und damit geringe Drift infolge Eigenerwärmung.

Werden auch die Widerstandsnetzwerke in MOS-Technik realisiert, kommt man zum Einchip-Umsetzer. Allerdings steigt dann die Verlustleistung an, da hochohmige Widerstände in diffundierter Technik zu hohen Platzbedarf hätten.

Bei Verwendung gestufter Widerstände (siehe Bild 4b, 5a) läßt sich der Platzbedarf durch Anpassung der Durchlaßwiderstände der Schalter an die zu schaltenden Widerstände minimieren. Bei der Realisierung von D/A-Umsetzern in Bipolartechnik spielen die Eigenschaften der Bipolartransistoren eine entscheidende Rolle. Zusätzlich zu ihren Toleranzen sind Basis-Emitter-Spannung der Transistoren und Stromverstärkung abhängig von der Umgebungstemperatur und dem fließenden Strom (Schaltzustand). Temperaturfehler lassen sich z. B. durch eine gezielte Temperaturabhängigkeit der Referenzquelle kompensieren. Trotz der Wichtung der Ströme lassen sich für alle Schaltertransistoren gleiche Stromdichten und damit gleiche Bedingungen durch entsprechende Wahl der Emitterflächen erreichen. Damit ist nicht nur die Schaltungstechnik, sondern auch die Halbleiterstruktur entscheidend für die Daten des realisierten Umsetzers.

5.2. A/D-Umsetzer

Die Schaltungstechnik von A/D-Umsetzern läßt sich in rein analoge und rein digitale Funktionsgruppen trennen. Für monolithische Einchip-Umsetzer müssen damit Technologien zur Anwendung kommen, mit denen sich beide Schaltungstechniken mit garantierten Daten und genügender Ausbeute an funktionsfähigen Bauelementen realisieren lassen. Dabei spielt die hohe Komplexität der Gesamtanordnung eine entscheidende Rolle. Die konventionelle Bipolartechnik (z. B. TTL-Technik) ist wegen ihres hohen Leistungsumsatzes wenig geeignet. Lediglich in sehr schnellen Umsetzern, wo der Leistungsumsatz eine untergeordnete Rolle spielt, kommt sie in Form der ECL-Technik und ihrer Modifikationen zur Anwendung [19].

Günstiger ist hier die I^2L-Technik [19]. Mit ihr lassen sich hohe Packungsdichten und relativ hohe Arbeitsgeschwindigkeit bei niedriger Betriebsspannung und geringer Stromaufnahme erreichen. Die technologische Realisierbarkeit dieser Technik ist relativ leicht, die Kombination mit anderen Bipolartechnologien ist möglich.

Gegenwärtig dominiert die CMOS-Technik. Ihr technologischer Aufwand ist zwar höher als der der reinen MOS-Technik, etwa vergleichbar der Bipolartechnik, dafür ist der Leistungsumsatz bei Wahl einer relativ geringen Arbeitsgeschwindigkeit extrem niedrig. Bild 30 zeigt einen Vergleich zur Low-power-Schottky-TTL als leistungsarmer Bipolarlogik [18]. Im Flächenbedarf liegt die CMOS-Technik zwischen der Bipolar- und der MOS-Technik. Die Realisierung analoger Schaltungen ist in CMOS-Technik möglich.

Da aber bereits Mischtechnologien realisierbar sind, d. h. CMOS-Anordnungen, bipolare Elemente und SFET's auf einem Chip, ist auch eine Anpassung der Technologie an spezielle Baugruppen der Umsetzer möglich.

6. Beispiele für monolithische Umsetzer

Tafel 1 zeigt wichtige Daten auf dem Weltmarkt erhältlicher Einchip-A/D-Umsetzer. In Tafel 3 sind die Daten des C 520 angegeben, der ab 1981 im VEB Halbleiterwerk Frankfurt/O. produziert wird. Bild 31 zeigt den Einsatz des C 520 in einem Digitalvoltmeter.

Literatur

[1] *Dokter, F.; Steinhauer, J.:* Digitale Elektronik in der Meßtechnik und Datenverarbeitung, Band 2. 2. Auflage. Phillips 1972.

[2] *Tietze, G.:* Analog-Digital-Umsetzer der elektrischen Meßtechnik. rfe 21 (1972) H. 19, S. 620–623; H. 20, S. 670–673; H. 21, S. 689–692; H. 22, S. 736–740; H. 23, S. 776–779.

[3] Elektronik-Arbeitsblatt Nr. 94: Digital/Analog-Umsetzer. Elektronik (1976) H. 1, S. 77/78 und S. 93/94.

[4] *Pretzl, G.:* Monolithische D/A- und A/D-Umsetzer. Elektronik (1977), H. 3, S. 38–46.

[5] *Döring, H.:* Analog-Digital-Wandlung nach dem Kompensationsverfahren. rfe 27 (1978) H. 6, S. 399–401.

(Fortsetzung auf Seite 269)

Sensoren — Bindeglieder zwischen Prozeß und Automatisierungseinrichtung

0. Einleitung

Die Hauptfortschritte bei Automatisierungseinrichtungen werden u. a. im Bereich der Strukturierung, des Anlagenschutzes und der Überwachung, dem Einsatz der Lichtleitertechnik und der Verbesserung im Bereich der Schnittstelle Prozeß/Anlage, also der Sensoren, liegen. Durch die Mikroelektronik ist es möglich, notwendige Informationsverarbeitung rationell mit geringem Aufwand durch Mikrorechner zu bewältigen. Um so notwendiger ist es, die für eine optimale Prozeßführung erforderlichen physikalischen Zustandsgrößen und Zustandsänderungen in Form physikalischer Eingangsgrößen, wie Temperatur, Druck, Durchfluß u. a. m., rationell zu erfassen und in geeigneter, vom Mikrorechner verarbeitbarer Form anzubieten. Diese Aufgaben haben die Sensoren zu erfüllen (Bild 1).

Der Begriff des Sensors ist relativ neu in unserem Sprachbereich und wird aus meßtechnischer Sicht als der Teil eines Meßmittels definiert, mit dem diejenigen Informationen gewonnen werden, die sich direkt auf die Meßgröße beziehen. Dabei sind gerätetechnische Unterscheidungen bezüglich der funktionellen oder konstruktiv-technologischen Realisierung, die z. B. zur bisherigen Unterscheidung von Meßfühlern, -aufnehmern, -umformern, -wandlern u. a. m. führten, nicht mehr von Bedeutung. Die Abbildung nichtelektrischer physikalischer oder chemischer Prozeßgrößen in Form elektrischer Signale ist die entscheidende Funktion.

1. Bedeutung des Sensors in der Automatisierungsanlage

Als Bindeglied zwischen dem Prozeß- und dem Mikrorechner werden zur Erfassung der Prozeßkennwerte Sensoren benötigt, die z. Z. wesentliche Kostenanteile bestimmen. Eine Analyse der Kostenstruktur von typischen Prozeßsteuerungen ergab nachfolgende Kostenanteile für Sensoren, elektrische Informationsverarbeitung und Stelleinrichtungen:

Werkzeugmaschinensteuerung	33%	13%	54%
Heizungsanlagen	25%	15%	60%
Optimale Regeleinrichtungen			
KFZ-Motoren	50%	10%	40%
Chemieanlagen	30%	20%	50%
Zementanlagen	27%	21%	52%

Im Vergleich zur elektronischen Informationsverarbeitung durch Mikrorechner haben Sensoren einen Entwicklungsrückstand, der sich inzwischen nachteilig auf die Einführung der Mikroelektronik in die Prozeßautomatisierung auswirkt. Um diesen Rückstand in der Entwicklung der Sensoren aufzuholen, ist es notwendig, diese nach neuen kostengünstigen Technologien zu produzieren. Es wird eingeschätzt, daß 1985 80% der erforderlichen Sensortypen nach heute noch nicht bekannten bzw. dafür noch nicht genutzten Wirkprinzipien und Technologien herzustellen sind. Dabei spielen insbesondere die aus der Halbleitertechnik bekannten Technologien eine entscheidende Rolle. Aus diesem Grunde werden die Marktanteile am Umsatz der Automatisierungstechnik stark zunehmen und hohe jährliche Steigerungsraten von etwa 20% erreichen.

2. Systemaspekte

Vom funktionellen Leistungsvermögen der Sensoren her sind 3 Stufen erkennbar:

- *Elementarsensoren* realisieren die Ankopplung an die Meßgeräte und die Umwandlung der nichtelektrischen Eingangs- in eine elektrische Ausgangsgröße
- *Sensoren* als selbständige Bauelemente oder Module realisieren über Elementarsensoren hinausgehend die Signalanpassung und -vorverarbeitung
- *Sensorgeräte* realisieren als funktionelle und konstruktive Einheit von Sensor und Mikrorechner komplexe Funktionen (z. B. Korrektur von Nichtlinearitäten, Temperatureinflüs-

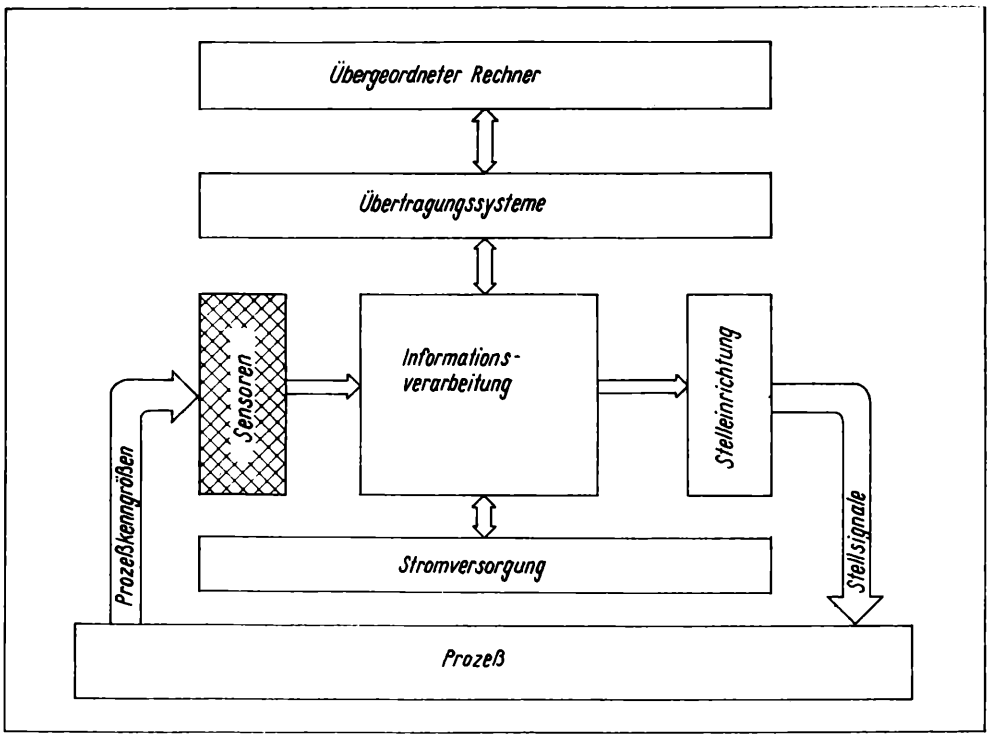


Bild 1. Stellung des Sensors in der Automatisierungsanlage

sen, Drift) bis hin zur Ausgangspufferung. Sie werden auch als intelligente Sensoren bezeichnet.

Diese Übergänge zwischen den Stufen sind infolge der Vielfalt der konstruktiv-technologischen Lösungsmöglichkeiten verschliffen. Dies ist u. a. auch bedingt durch die nachstehend aufgeführten Systemaspekte, die bei der Entwicklung von Sensoren zu beachten sind:

- Anpassung an bestehende Automatisierungsgeräte, -einrichtungen und -anlagen
- Anpassung an künftige mikroelektronische und damit zukunftssichere Automatisierungssysteme
- Anpassung an Signalpegel und/oder Standardinterfaces für Kopplung und Übertragung
- Anpassung an moderne künftige Übertragungsmöglichkeiten, z. B. Lichtleitertechnik
- Anpassung an konstruktive und technologische Bedingungen der Gerätetechnik, z. B. für den Austausch konventioneller Meßfühler durch Sensoren.

3. Gerätetechnische Realisierung von Sensoren

Wesentliche Komponenten für die Entwicklung der Sensortechnik sind die angewendeten Wirkprinzipien bzw. Effekte, die Mikroelektronik-Integration und die Fertigungstechnologien. Sie sind für unterschiedliche Sensorbestandteile dominierend und beeinflussen sich gleichzeitig gegenseitig.

Das benutzte Wirkprinzip bestimmt die Ausführung des eigentlichen Sensorelementes hinsichtlich der Signalgewinnung und zugleich auch die konstruktive Gestaltung der Elemente zur Ankopplung an die Meßgröße. Gegenwärtig breiteste Anwendung finden die piezoresistive Wandlung, insbesondere für Druck- und Kraftsensoren (Bild 2), und die Ausnutzung des Ausbreitungswiderstandes bzw. des pn-Überganges für Temperatursensoren (Bild 3). Diesen Wirkprinzipien gemeinsam ist die Ausführung in Siliziumtechnik. Zwei weitere Effekte finden zunehmend Anwendung in der Sensortechnik, bedingen jedoch einen wesentlich anderen konstruktiven Aufbau. Folien-Schicht-Sensoren bestehen aus einem Kunststoffträger mit aufgedampfter Metallschicht, die je nach Auslegung und Schaltung (Bild 4) die temperatur- bzw. medienabhängige Leitfähigkeits- oder Kapazitätsänderung für die Wandlung benutzen, z. B. für Feuchtemessung. Dagegen wird die sehr große Leitfähigkeitsänderung von Sinterwerkstoffen überwiegend für Temperatursensoren bis 500 °C ausgenutzt. Für eine Reihe von Meßgrößen ist die industrielle Nutzung neuer Wirkprinzipien noch nicht so weit fortgeschritten, daß sich bevorzugte Lösungen erkennen lassen. Das betrifft z. B. Strahlungssensoren im sichtbaren und infraroten Bereich und die Analyse von Stoffzusammensetzungen.

Die gerätetechnischen Lösungen zur Realisierung der zweiten Stufe, d. h. der Integration der mikroelektronischen Komponenten, sind durch die jeweilige Ausführung des Elementarsensors schon zu einem Teil vorgegeben. Auf der Basis der Si-Technik sind Mitintegration bzw. Einchipausführung möglich, in den anderen Fällen ergeben sich hybride Lösungen, ebenso bei Sensorgeräten. Dabei stehen in der ersten und der zweiten Stufe je nach Einsatzzweck und Beanspruchung ungeschützte („nackte") und geschützte bzw. montierte Bauformen mit Standard- und Sondergehäusen in einer Vielzahl von Varianten nebeneinander.

Der Einfluß der Fertigungstechnologie auf die gerätetechnische Ausführung ist sowohl bei monolithischen als auch bei hybriden Lösungen im wesentlichen aus der Entwicklung der Mikroelektronik ableitbar und bekannt. Daneben führen technologische Fortschritte außerhalb der Halbleitertechnik in der Anwendung auf konventionelle Meßfühler ebenfalls zur Miniaturisierung, zu höherer Präzision und besserer Anpassung an die Elektronik.

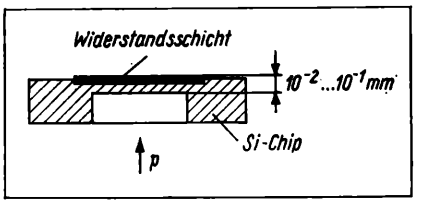


Bild 2. Druck-Elementarsensor, piezoresistiv, durch Abdünnen eines Si-Chips für verschiedene Meßbereiche auslegbar (schematisch)

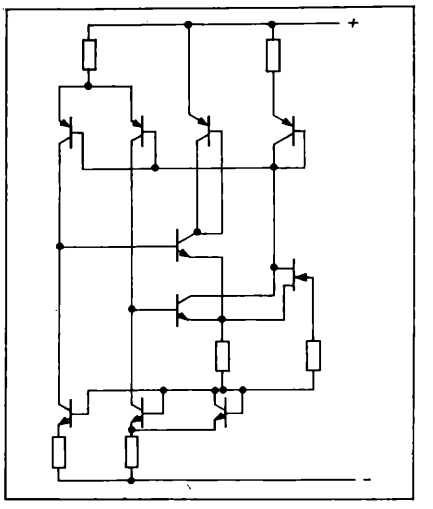


Bild 3. Temperatursensor, prinzipielle Struktur einer integrierten Schaltung für Zweileiterbetrieb

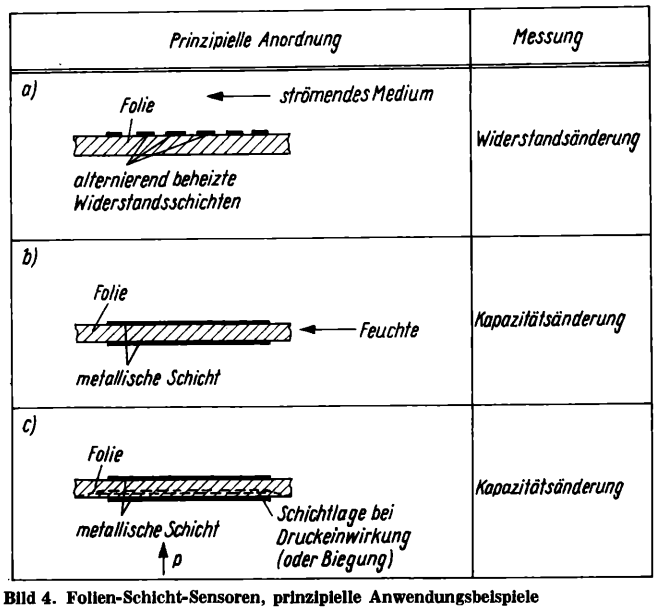


Bild 4. Folien-Schicht-Sensoren, prinzipielle Anwendungsbeispiele
a) Strömungsmessung; b) Feuchte-Messung; c) Druck-Messung

4. Ausblick

Die rechtzeitige Bereitstellung der erforderlichen modernen Sensortechnik ist eine wesentliche Voraussetzung für Fortschritte in der Prozeßautomatisierung durch verstärkte Anwendung der Mikroelektronik. Unumgänglich ist dabei die Berücksichtigung von Systemaspekten sowohl hinsichtlich Funktion, Technik und Fertigung als auch für die Projektierung, für Einsatz und Service. Zeitweise ist dazu ein Umdenken gegenüber konventioneller Technik erforderlich, z. B. bezüglich Systemkonfiguration, technologischen Verkettungen bei Herstellung und Anwendung.

Von besonderer Bedeutung sind dabei in den nächsten Jahren

- die Breitenanwendung abgeglichener Sensoren
- die konstruktive Anpassung an unterschiedliche Einsatzbedingungen
- die höhere Informationsverarbeitung „vor Ort".

(Literatur auf Seite 292 unten)

msr 7605 Doz. Dr.-Ing. *H. Fuchs* und Dr.-Ing. habil. *G. Kunack*, IfR Berlin, Forschungszentrum des Kombinats VEB EAW Berlin

Zur Behandlung freier Leitungsadern und zur Verwendung von Aderleitungen in explosionsgefährdeten Betriebsanlagen

1. Bedingungen für freie Adern in Kabeln und Leitungen

Unerkannte Gefährdungen, z. B. Fremdspannungen, können den Sicherheitspegel einer explosionsgeschützten elektrotechnischen Anlage bedrohlich vermindern. Je nach dem, welche elektrischen und geometrischen Verhältnisse jeweils vorliegen, wird sich hauptsächlich in der Nachbarschaft von Wechselspannungen auf den nicht belegten Adern ein bestimmtes Potential einstellen. Unbedacht überbrückte Potentialdifferenzen beeinträchtigen sowohl die Funktionssicherheit als auch die Explosionssicherheit, sobald sie Stromstärken in der Größenordnung des Mindestzündstromes gemäß TGL 30020/04 [1] oder darüber zur Folge haben. Erdpotential-Differenzen sind davon nicht ausgeschlossen.

TGL 200-0621/02 [2] — Abschn. 4.4. — enthält daher als „allgemeine Sicherheitstechnische Forderung": „Nichtbelegte Leiter in Kabeln und Leitungen sind an *einer* gemeinsamen Stelle zu erden *oder* die freien Enden sind zu isolieren". Das Isoliervermögen [3] muß den speziellen Bedingungen des elektrotechnischen Explosionsschutzes entsprechen.

Vorzugsweise soll das Isolieren durch Aufklemmen auf freie Klemmen geschehen. Dabei muß dann einseitig für die Verbindung sämtlicher nicht belegter Adern mit dem Erdpotential gesorgt werden.

Mitunter stehen jedoch nicht genügend Klemmen zur Verfügung. TGL 19491/03 [4] gibt Mindestwerte für die Kriech- und Luftstrecken vor. Daher sind prinzipiell alle provisorischen Lösungen untersagt, z. B. für (Ex)-Betriebsmittel nicht zugelassene und nicht entsprechend isolierte Klemmen oder das Umwickeln mit „Isolierband". Man darf sich aber für die nicht belegten Leiterenden mit isolierten Quetschhülsen oder auch mit lockerungssicher befestigtem Isolierschlauch behelfen. In letzterem Fall muß jedes Leiterende einzeln isoliert werden. Einen Sonderfall stellen die eigensicheren Stromkreise nach TGL 200-0621/05 [5] dar. Die Schutzart „Eigensicherheit" verzichtet bekanntlich auf die konstruktiven Mittel des „klassischen" Explosionsschutzes und begrenzt dafür die elektrische Energie auf ungefährliche Werte. Mit der zitierten „allgemeinen sicherheitstechnischen Forderung" nach TGL 200-0621/02, Abschn. 4.4., wird in diesem Fall noch keine angemessene Sicherheit erreicht.

TGL 200-0621/05 — Abschn. 3.5. — bestimmt deshalb für diesen speziellen Fall: „Nicht belegte Leiter in Kabeln und Leitungen sowie Abschirmungen sind an einer gemeinsamen Stelle zu erden, die freien Enden sind zu isolieren". Für freie Adern im Zug eigensicherer Stromkreise gibt es also nicht die Alternative, zugunsten der Isolierung auf das Erden zu verzichten. Außerdem müssen die speziellen Forderungen für die Kriech- und Luftstrecken nach TGL 19491/06 [6] erfüllt werden.

Die Tafel verdeutlicht in zusammenfassender Übersicht, welche Bedingungen TGL 200-0621/02 und .../05 an die Behandlung freier Adern stellen.

Tafel. Bedingungen für die Behandlung von nicht belegten Leitern in explosionsgeschützten elektrotechnischen Anlagen [2] und [5]

Behandlung der Enden von nicht belegten Leitern	an Kabeln und Leitungen für		
	Leistungsstromkreise	Steuerungs- und Meldestromkreise (ausgen. (Ex)i)	Stromkreise in Schutzart Eigensicherheit (Ex)i
offen (Schnittstelle liegt frei)	nicht zugelassen		
beidseitig geerdet			
beidseitig isoliert	Kriech- und Luftstrecken nach TGL 19491/03 [4]		
einseitig geerdet, andere Seite [1]) isoliert			Kriech- und Luftstrecken nach TGL 19491/06 [6]

[1]) bei gemeinsamer Erdung der Leiter an nur einer Stelle.

2. Anwendungsbeschränkungen für Aderleitungen

TGL 200-0621/02 [2] enthält keine direkten Aussagen zum Einsatz von Aderleitungen. Man kann die Anwendungsmöglichkeiten für Aderleitungen nur aus dem Zusammenhang der Maßnahmen des elektrotechnischen Explosionsschutzes entnehmen.

Ein wesentlicher Teil des anlagentechnischen Explosionsschutzes besteht in Maßnahmen des Fremdkörper-, Berührungs- und Wasserschutzes, ausgedrückt durch den Schutzgrad nach TGL RGW 778 [7] (bisher TGL 15165). In der Regel müssen Leitungseinführungen von Betriebsmitteln in explosionsgefährdeten Arbeitsstätten mindestens dem Schutzgrad IP 54 entsprechen. Unter dieser Bedingung würden Aderleitungen dementsprechend geschützte Installationssysteme erfordern. Geschlossene Rohrsysteme sind jedoch gemäß TGL 200-0621/02- — Abschn. 4.11. — in explosionsgefährdeten Arbeitsstätten nicht zugelassen. Aderleitungen dürfen daher nur in den speziellen Fällen gelegt werden, in denen der Explosionsschutz nicht an den Schutzgrad gebunden ist. Dazu gehören:

1. Maßnahmen zum Potentialausgleich nach TGL 200-0602/03 [8] und nach TGL 200-0621/05 [5] sowie FI/TFI-Schutzleiter
2. Verdrahtungen innerhalb von Schränken, Pulten usw., die sich in einem fremdbelüfteten elektrotechnischen Betriebsraum gemäß TGL 200-0621/03 [9] befinden.

Darüber hinaus gibt es unter den Bedingungen des anlagetechnischen Explosionsschutzes keine weiteren Einsatzmöglichkeiten für Aderleitungen. Auch der Gasexplosionsgefährdungsgrad EG 4 (selten explosionsgefährdet) [10] berechtigt nicht dazu, außerhalb der vorgenannten Einsatzfälle Aderleitungen anzuwenden.

Literatur

[1] TGL 300 20/04: Gesundheits- und Arbeitsschutz, Brandschutz; explosionstechnische Kennzahlen brennbarer Gase und Dämpfe, Bestimmung der Zündwilligkeitsgruppen. Ausg. Januar 1976.

[2] TGL 200-0621/02: Elektrotechnische Anlagen in explosionsgefährdeten Arbeitsstätten, allgemeine sicherheitstechnische Forderungen. Ausg. Januar 1978.

[3] TGL 20 445/01: Elektrotechnik; Isolationskoordination, Begriffe. Ausg. November 1975.

[4] TGL 19 491/03: Schlagwetter- und explosionsgeschützte elektrische Betriebsmittel; erhöhte Sicherheit. Ausg. Juli 1972.

[5] TGL 200-0621/05: Elektrotechnische Anlagen in explosionsgefährdeten Arbeitsstätten; sicherheitstechnische Forderungen für eigensichere Anlagen. Ausg. Januar 1978.

[6] TGL 19 491/06: Schlagwetter- und explosionsgeschützte elektrische Betriebsmittel; Eigensicherheit. Ausg. Mai 1977.

[7] TGL RGW 778: Elektrotechnik; Schutzgrade, die durch Gehäuse gewährleistet werden; Bezeichnung, Prüfung. Ausg. September 1979.

[8] TGL 200-0602/03: Schutzmaßnahmen in elektrotechnischen Anlagen; Schutzmaßnahmen gegen zu hohe Berührungsspannung an betriebsmäßig nicht unter Spannung stehenden Teilen. Ausg. Dezember 1970.

[9] TGL 200-0621/03: Elektrotechnische Anlagen in explosionsgefährdeten Arbeitsstätten; sicherheitstechnische Forderungen für fremdbelüftete Anlagen. Ausg. Januar 1978.

[10] TGL 30 042: Gesundheits- und Arbeitsschutz, Brandschutz; Verhütung von Bränden und Explosionen; allgemeine Festlegungen für Arbeitsstätten. Ausg. Juni 1977.

msr 7557 Obering. *J. Pester*, FUA 1.11 der KDT (Elektrotechnische Anlagen in explosionsgefährteten Arbeitsstätten)

25. Fachtagung der Informationsgruppe „Reihenfolgeprobleme"

Vom 10. bis 12. November 1981 hat die Informationsgruppe „Reihenfolgeprobleme" als eine der vier ständigen Arbeitsgruppen der Informationsgemeinschaft Operationsforschung in der metallverarbeitenden Industrie (IG „OF in der mvI") ihre Jahrestagung durchgeführt. Das Hauptthema dieser Jubiläumstagung zum 15jährigen Bestehen der Informationsgruppe lautete „Rechnergestützte Projektierung und Steuerung — notwendige Voraussetzung für die Erhöhung von Effektivität, Zuverlässigkeit und Stabilität komplexer Fertigungsprozesse". Durch den langjährigen Leiter der Informationsgruppe *J. Beiersdorf* (Kombinat VEB Elektro-Apparate-Werke Berlin-Treptow) konnte eingangs in Übereinstimmung mit einer entsprechenden Würdigung auf der 29. Tagung der IG „OF in der mvI" im Mai 1981 eine gute Bilanz der Arbeit in den zurückliegenden Jahren sowohl hinsichtlich der weiteren Fundierung der Theorie wie auch der Lösung volkswirtschaftlich relevanter Aufgabenstellungen in Betrieben und Kombinaten in der metallverarbeitenden Industrie und weit darüber hinaus gezogen werden. Besonderen Anteil in den letzten Jahren haben dabei die Forschungsarbeiten im Forschungszentrum des Werkzeugmaschinenbaus Karl-Marx-Stadt und in einigen Hochschuleinrichtungen.

Der gegenwärtig erreichte Stand verdeutlicht die Notwendigkeit des weiteren praxisorientierten Ausbaus der Untersuchungen zur Steuerung von Fertigungsabläufen sowohl in bezug auf die Fertigungsprozesse wie auch die Fertigungssteuerungsprozesse.

Im anschließenden Beitrag von *W. Stanek* und *H.-J. Tischer* (Forschungszentrum des Werkzeugmaschinenbaus Karl-Marx-Stadt) zum Thema „Einige Ergebnisse aus der Simulation automatisierter Fertigungsabschnitte unter Nutzung von Fertigungssteuerungsregeln" wurden Fragen der Projektierung und Steuerung integrierter gegenstandsspezialisierter Fertigungsabschnitte (IGFA) mit Hilfe des im Forschungszentrum entwickelten Modellsystems zur mathematisch-analytisch-optimalen Simulation (MAO SIM) behandelt. Die Referenten gingen auf Trends in der technisch-technologischen Entwicklung und Automatisierung vor allem im Maschinenbau ein, erläuterten die Anwendung von MAO SIM auf IGFA, die u. a. einen neuen Lösungsweg für die Dimensionierung ermöglicht, stellten Anwendungsfälle aus verschiedenen Kombinaten des Maschinen-, Fahrzeug-, Landmaschinen- und Anlagenbaus vor und erläuterten neue theoretische Ergebnisse, vor allem zur Wirksamkeit von Fertigungssteuerungsregeln und der Dimensionierung am Beispiel der Projektierung des IGFA-Rota im VEB Werkzeugmaschinenfabrik Zeulenroda.

E. Schlüter (TH „Otto von Guericke" Magdeburg) sprach zum Thema „Probleme der Ablaufplanung im Industrieanlagenbau".

Er erläuterte zur Problemstellung im Anlagenbau, daß in den einzelnen Phasen der Vorbereitung und Realisierung von Anlagen sowohl zwischen den einzelnen Vorhaben als auch zwischen den Prozeßstufen der Vorhaben Parallelverlauf auftritt, der bei der Ablaufplanung berücksichtigt werden muß. Dabei sind verschiedene gegenläufige Zielfunktionen vorhanden. Daraus ergibt sich die Reihenfolgeaufgabe, einen hinsichtlich eines vorgegebenen Zielkriteriums optimalen Ablaufplan für die Realisierung eines aus der Gesamtheit aller Anlagenvorhaben bestehenden Gesamtprojektes zu ermitteln. Dazu entwickelte *E. Schlüter* zwei Varianten eines ökonomisch-mathematischen Modells. Zur Lösung schlug er ein Verfahren zur Einordnung der Vorhaben in ein Balkendiagramm und zum zweiten die Anwendung der Netzplantechnik in Form der Metrapotentialmethode vor. Für den zweiten Lösungsweg ist der Einsatz des inzwischen vorliegenden PP LEINET (Programmpaket Leipziger Netzplantechnik) in seiner OS-Version und später des in Erprobung befindlichen PP LEINET-DIALOG vorgesehen. Für beide Lösungswege erfolgt die rechentechnische Realisierung auf ESER -Anlagen.

J. Eggert und *J. Beiersdorf* (Kombinat VEB Elektro-Apparate-Werke Berlin-Treptow, Stammbetrieb) stellten in ihrem Beitrag „Projektierung eines Fertigungssteuerungssystems auf der rechentechnischen Basis des ESER" Fragen der Gestaltung der Fortschritts- und Systemzustandskontrolle bei operativer Einführung abweichender Technologien sowie der Steuerung der Reihenfolge der Bearbeitung von Aufträgen dar. Sie stellten die im Prozeß der Fertigung operativ erforderlichen Abweichungen vom geplanten und in der technologischen Dokumentation fixierten Werkstattdurchlauf über die Kostenstellen dar und leiteten die entstehenden Probleme und die sich daraus ergebenden Konsequenzen für den Belegdurchlauf, die Fortschrittskontrolle, die Dateiführung und den Rechnereinsatz ab.

Weitere Problemstellungen von Reihenfolgeaufgaben wurden von

M. Wetterhahn (VEB Meßelektronik Berlin) und *K.-F. Linke* (Institut für berufliche Weiterbildung Berlin) vorgestellt.

M. Wetterhahn erläuterte die in einem Vorfertigungsbereich mit verfahrensspezialisierter Fertigung existierenden Bedingungen, Zielstellungen und Anforderungen für eine rechnergestützte Ablaufplanung und Prozeßsteuerung.

K.-F. Linke ging auf Probleme in der Projektierung ein, stellte sie als kombinierte Kapazitäts- und Reihenfolgeprobleme dar und erläuterte erste Vorstellungen über die diesbezügliche Anwendung eines aufgabenspezifisch konfigurierten Basisrechnersystem A 6402.

Die verschiedenen Vorträge und umfangreichen Diskussionen auf der Tagung lassen eine Reihe gundsätzlicher Schlußfolgerungen, insbesondere auch zum Anwendungsbereich der Reihenfolgeoptimierung im Rahmen der Ablaufplanung und Prozeßsteuerung, in der Rationalisierung und Projektierung von Fertigungsprozessen, zu:

1. Beeinflußbare Kenngrößen der rechnergestützten Fertigungsprozeßeffektivierung

In der Wirtschaftspraxis besteht im wachsenden Maße die Forderung, von der empirischen Anwendung organisatorischer und technologischer Erfahrungen, die meist durch konventionelle Lösungen umgesetzt werden, zur bewußten und wissenschaftlichen Erfassung, Analyse und Gestaltung der organisatorischen und technologischen Gesetzmäßigkeiten der Fertigungsprozesse überzugehen.

Dafür spielen die Untersuchung und Rationalisierung existierender und die Projektierung künftiger Fertigungsprozeßabläufe und Fertigungsprozeßsteuerungssysteme eine entscheidende Rolle. Für die Untersuchung, Rationalisierung und Projektierung von Fertigungsprozeßabläufen und Fertigungsprozeßsteuerungen muß von allen beeinflußbaren Kenngrößen ausgegangen werden. Das sind

- die fertigungstechnologischen, fertigungsorganisatorischen und die ökonomischen Voraussetzungen für die Prozeßabläufe und ihre Gestaltung
- die Steuervarianten auf der Grundlage überprüfter und bewährter Steueralgorithmen auf der Basis vor allem von Reihenfolgealgorithmen
- die Prozeßelemente mit ihren variablen Parametern, die Prozeßstruktur und die Wechselwirkungen zwischen den Elementen.

Für die fertigungstechnologischen Bedingungen sind in Übereinstimmung mit der Analyse einer großen Anzahl von Anwendungsbeispielen der Informationsgruppe folgende relevant:

Anzahl der Prozeßstufen und der Maschinen/Arbeitsplätze je Typ, Art der Arbeitsgangfolgen, Quantifizierbarkeit der Bearbeitungs- und Rüstzeiten, Übergang zwischen den Maschinen, Werkstückspannung.

Zu den wichtigsten fertigungsorganisatorischen Bedingungen gehören Art der

Auftragsfolgen, Zusammenhang zwischen Auftragsfolgen und Bearbeitungszeiten, Art der Bearbeitung der Werkstücke, Koordinierungsformen der Arbeitsgänge, Stetigkeit der Realisierung von Bearbeitungsoperationen, Werkstückbewegung, Verfügbarkeit der Maschinen- bzw. Arbeitsplatzkapazität.
Die ökonomischen Bedingungen berücksichtigen vor allem solche Kenngrößen, wie Produktionsprogramm, Auftragsankunftsprozeß, Vorgabe von Bereitstellungs- und Ausstoßterminen, Art und Kapazität der Lager, Werkstück- und Arbeitsplatzprioritäten.
Die fertigungstechnologischen, fertigungsorganisatorischen und die ökonomischen Voraussetzungen für die Prozeßabläufe können somit außerordentlich differenziert sein.
Die Steuervarianten ergeben sich aus der Vielfalt von Steueralgorithmen zur Lösung von Reihenfolgeaufgaben — siehe auch msr **24** (1981) H. 9, S. 520—522.
Zur Charakterisierung der Prozeßelemente, vor allem hinsichtlich Struktur und Dimensionierung, sind in der Tafel die wichtigsten Aspekte zusammengefaßt.
Im einfachsten der damit verbundenen Fälle — der Ermittlung der Lösung einer Reihenfolgeaufgabe für ein bestehendes Fertigungssystem — ist die vollständige Beschreibung der Reihenfolgeaufgabe erst gegeben durch:

- die Prozeßablaufvariante als wichtigste Bedingung
- die fertigungstechnologischen, fertigungsorganisatorischen und ökonomischen Ablaufbedingungen des Prozesses
- die ökonomischen Zielstellungen der Ablaufplanung und der Prozeßsteuerung.

Auf dieser Grundlage ist es allein schon für diesen trivialen Fall verständlich, daß für die praxisrelevanten Reihenfolgeprobleme eine Vielzahl von betrieblichen Aufgabenstellungen mit großer Differenziertheit der Zielstellungen, der internen und externen Realisierbarkeitsbedingungen, der stochastischen Einflußfaktoren und der logischen Strukturen zugrunde liegt.
Die weit über das eigentliche Reihenfolgeproblem hinausgehende Veränderung aller beeinflußbaren Parameter zielt sowohl auf die Rationalisierung des in der Zeit ablaufenden, bereits vorhandenen Prozesses als auch auf die Erhöhung der Effektivität der Technologie für existierende und künftige Prozesse bei gleichzeitiger Erhöhung der Flexibilität im Rahmen der Projektierung gegenüber Schwankungen im Produktionsprogramm ab.
Eine Ermittlung effektiver Kenngrößen der Elemente des Prozesses und der Wechselbeziehungen der Elemente steht vor allem bei der Projektierung von künftigen Fertigungsprozeßabläufen im Mittelpunkt.

2. Ablaufplanung und Steuerung, Rationalisierung und Projektierung von Fertigungsprozessen

Bei der Ablaufplanung, Steuerung, Rationalisierung und Projektierung von Fertigungsprozessen und der Fertigungsprozeßsteuerung mit Hilfe mathematischer Methoden, vor allem in Form von reihenfolgenproblembezogenen Verfahren, sowie rechentechnischer Mittel verschieben sich mit den gegenwärtig sich vollziehenden Entwicklungstendenzen der Technologie z. B. in Maschinenbaubetrieben die Schwerpunkte immer stärker hin zur Projektierung als Grundlage einer effektiven Ablaufplanung und Steuerung.
Im folgenden wird eine praxisbezogene Abgrenzung des Gegenstandes der mathematischen Methoden in der Ablaufplanung, Steuerung, Rationalisierung und Projektierung vorgenommen.
Breite Anwendung haben bisher Untersuchungen des Verhaltens existierender Fertigungsprozesse und des Einflusses der Methoden und Parameter der Entscheidungs- und Informationsprozesse auf die Effektivität von Fertigungssystemen gewonnen.
Ein erster Schwerpunkt ist dabei die Untersuchung und Entwicklung von mathematischen Methoden und Algorithmen für die Ablaufplanung und Steuerung sowie die Suche nach effizienten Planungsparametern bei feststehender Strukturierung und Dimensionierung des Fertigungssystems.
Hierbei sind folgende Aspekte von besonderer Relevanz:

- Beurteilung der Wirksamkeit der Ablaufplanung und -steuerung *bei feststehenden technologischen, organisatorischen und ökonomischen Bedingungen* für
  - die einsetzbaren Steueralgorithmen und mathematischen Planungsmethoden (Prioritätsregeln, Entscheidungsbaumverfahren usw.) mit dem Ziel der Auswahl effektiver Steuervarianten für Ablaufplanung und Steuerung (zentral und dezentral)
  - die angewandte Steuerungshierarchie (Zielstellungen, Entscheidungen, Informationsbeziehungen, Prozeßabläufe der verschiedenen Ebenen)
    - zentral und dezentral
    - global und lokal
    - vollautomatisierte, teilautomatisierte, manuelle Steuerung
- Vervollkommnung des praktizierten Systems der Ablaufplanung und der Steuerung der Prozeßabläufe *bei feststehenden technologischen, organisatorischen und ökonomischen Bedingungen*
  - Auswahl und Einsatz effektiver Stufen der Ablaufplanung
  - Prüfung des Einflusses der veränderlichen Parameter, wie Planungsrhythmen, -zeiträume, -abschnittsgrößen, gleitende Planung und ihre effektivere Festlegung
  - Auswahl und Einsatz von effektiven Steueralgorithmen für die einzelnen Stufen durch den Test ihrer Einflußnahme auf das Leistungsverhalten der Fertigungsabläufe
- Flexibilität des Systems der Ablaufplanung und Prozeßsteuerung *bei sich verändernden technologischen, organisa-*

Tafel. Gestaltung der Fertigungsabläufe durch Variierung von beeinflußbaren Größen und Wechselbeziehungen

Elemente des Prozesses	charakteristische Kenngrößen der Prozeßelemente	elementegebundene Variation (Variation der Prozeßkonfiguration)	Variation von beeinflußbaren Größen in bezug auf Wechselbeziehungen usw. (Variation von Simulationsverfahrens- und Prozeßkonfiguration)
Stationen (Maschinen, Arbeitsplätze)	. Art der Stationen (Maschinen) . Standorte (Objektreihenfolge) . Kapazität (Leistungsfähigkeit) . technologische Flexibilität	Anzahl, Struktur, Leistungsfähigkeit und technologische Flexibilität der Arbeit des Bearbeitungssystems	. Kapazitätsproportionierung zwischen Werkstücksortiment und Bearbeitungssystem . Belastung des Bearbeitungs-, Transport- und Lagersystems . alle wichtigen fertigungstechnologischen, fertigungsorganisatorischen und ökonomischen Voraussetzungen für Prozeßablauf
Werkstücksortiment (Produktionsprogramm)	. Arten der Werkstücke . Anzahl je Art . Losgröße	. technologische, organisatorische und ökonomische Merkmale der Werkstücksortimente . Strategie des Werkstückdurchlaufes	
Speicher	. Art der Speicher . Größe der Speicher . Anordnung zum Ablauf des Hauptprozesses	. Größe und Anordnung der Speicher . System der Lagerbestandshaltung	
Transportsystem (Verbindungselement)	. Struktur des Transportwegenetzes . Verbindung zu den anderen Prozeßelementen	. Struktur und Kapazität der Transportwege	

torischen und ökonomischen Bedingungen bei häufig wechselnden und unterschiedlichen Fertigungsaufgaben

  - — Überprüfung der Parameter der Ablaufplanung
  - — Überprüfung der Steueralgorithmen (Toleranzbereich, Wirksamkeit bei veränderten Bedingungen)

- Suche nach wirksameren Steueralgorithmen nach erfolgter Veränderung der Prozeßelemente (insbesondere der Stationen und Werkstücksortimente)
- Anwendung von Steueralgorithmen zur
  - — Ermittlung von Belegungsplänen oder Korrektur von Belegungsplänen
  - — ökonomischen (naturellen, zeit- und wertmäßigen) Beurteilung des Prozeßablaufes.

Ein zweiter Schwerpunkt ist die Überprüfung und Qualifizierung der inneren und äußeren Informationsflußsysteme unter Berücksichtigung ihrer wechselseitigen Beeinflussung einschließlich des „ruhenden Flusses" der Informationen an den Staupunkten des Steuersystems.
In diesem Gesamtkomplex der Ablaufplanung und Steuerung spielt die Modellierung von Reihenfolgeproblemen in ihren unterschiedlichsten Modifikationen eine zentrale Rolle.
Infolge unterschiedlicher logischer Strukturen der Aufgabenstellungen und der zugehörigen Ablaufbedingungen der Prozesse, der unterschiedlichen technologischen und organisatorischen Determiniertheit und Einheitlichkeit der Prozeßabläufe sowie der differenzierten Wirkung und Quantifizierbarkeit der stochastischen Faktoren unter den Bedingungen verschiedener Fertigungsarten und Fertigungsprinzipien ist deshalb für die anwendbaren mathematischen Problemlösungen eine Niveaustufung erforderlich.
Diese Niveaustufung setzt die Verfügbarkeit von Reihenfolgealgorithmen voraus, beginnend mit:

- — lokalen Entscheidungshilfen (vor allem in Form von Prioritätsregeln) für die dezentrale und oft auch manuelle Entscheidungsfindung zur Maschinen- und Arbeitsplatzbelegung über
- — Algorithmen zur Prozeßsteuerung (Korrektur von Belegungsplänen, Ermittlung von Entscheidungstabellen usw.) bis hin zu
- — Reihenfolgealgorithmen zur Ermittlung von Ablaufplänen und der Entwicklung effektiver lokaler Entscheidungshilfen in der Ablaufplanung.

In der Werkstattfertigung sind zum Beispiel die bisherigen empirischen Organisationslösungen durch auf ihre Effizienz überprüfte Prioritätsregeln ersetzbar. Andererseits bietet z. B. auch die Werkstattfertigung im Fall der Großteilefertigung Möglichkeiten für die Anwendung leistungsfähiger Methoden der Reihenfolgeoptimierung, wie dies anhand der Reihenfolgeoptimierung für das Maschinensystem PC-3 im Kombinat Umformtechnik Erfurt bewiesen wurde.
Der zweite wichtige Anwendungsbereich ist die (komplexe) Rationalisierung im Sinne der Erschließung aller vorhandenen Reserven von Fertigungsprozessen.
Die Rationalisierung bestehender Prozeßabläufe ist auf die Erkennung von Engpässen, Schwachstellen und Störungsquellen, die Ermittlung von technologischen Leistungsreserven und die Sichtbarmachung von Rationalisierungsmöglichkeiten gerichtet. Auf dieser Grundlage sind Vorschläge für die volle Erschließung der Potenzen von Fertigungsprozessen zu entwickeln. Schwerpunkte der Forschungen hierzu sind:

- *Variation von technologischen, organisatorischen und ökonomischen Voraussetzungen bei konstanter Systemstruktur*
  - — Ausgehend von ermittelten Engpässen und Schwachstellen Suche nach Rationalisierungsmöglichkeiten bei unveränderlichem Steueralgorithmus und gegebener Prozeßstruktur
  - — Vervollkommnung der auf eine Veränderung der Prozeßstruktur abzielenden technologischen Voraussetzungen und der ökonomischen Bedingungen
- *Vervollkommnung der Prozeßstruktur, -kenngrößen und Wechselbeziehungen der Elemente bei gleichbleibendem Steueralgorithmus*
  - — Änderungen im Produktionssortiment
    - . auf der Grundlage einer überschaubaren und damit voraussagbaren Tendenz
    - . auf der Grundlage saisonaler, dynamischer und stochastischer Schwankungen, die die Voraussage für die Entwicklung des Sortimentes in künftigen Zeiträumen mit Unsicherheiten versehen
  - — Proportionierung der Werkstücksortimente und des Bearbeitungssystems unter Beachtung ihrer wechselseitigen Abhängigkeiten und ihres Einflusses auf Transport und Lagerung
  - — Vervollkommnung der Fertigungsorganisation, z. B. durch Einrichtung zentraler Fertigungen.

Bei der Projektierung von Fertigungsprozessen sind Erkenntnisse über die Struktur und Dimensionierung, die Funktion und das Verhalten in Projektierung befindlicher Prozesse oder zu projektierender Prozesse und die möglichen Methoden ihrer Steuerung zu gewinnen.
Die Projektierung von Fertigungsprozeßabläufen ist ein Prozeß, der eine Reihe von System- bzw. Prozeßelementen (Werkstücksortiment, Stationen, Speicher, Transportsystem) mit äußerst zahlreichen wechselseitigen Beziehungen zwischen diesen Elementen umfaßt und in den Zusammenhang mit ihrer komplexen Steuerung setzt. Dabei geht es vor allem um folgende Schwerpunkte:

- *Einschätzung projektierter Prozesse hinsichtlich*
  - — der Effektivität der Prozeßstruktur
  - — der Zweckmäßigkeit der geplanten Werkstücksortimente
  - — des geplanten Systems der Ablaufplanung und Prozeßsteuerung

  durch modellmäßige Funktionserprobung der Haupt- und Hilfs-(TUL-) Prozesse
- *Projektierung der Struktur der Prozesse und ihrer Abläufe*
  - — Dimensionierung der charakteristischen Kenngrößen der Elemente (Stationenzahl, Lager und ihre Verteilung usw.)
  - — Anordnungsoptimierung der Stationen und Lager
  - — Berechnung effektiver Kopplungen zwischen den Elementen (Lagerdimensionierung, Transportnetzentwicklung u. a.) für ein bekanntes Werkstücksortiment bzw. für oft wechselnde unterschiedliche Fertigungsaufgaben
  - — Projektierung der Fertigungsorganisation (z. B. zentralisierte Fertigungen)
  - — Projektierung effektiver Systeme der kurzfristigen Planung und der Prozeßsteuerung für hypothetische Produktionsbereiche nach den Gesichtspunkten:
    - . Wieviele und welche Stufen der Konkretisierung der Planaufgaben sind unter den gegebenen Bedingungen optimal?
    - . Welche Planzeiträume, Planungsrhythmen und Planabschnittsgrößen sind einzusetzen?
    - . Welche Algorithmen sind für die effektive Erfüllung der Funktionen der einzelnen Planungsstufen einzusetzen?

3. Anwendung der Simulation zur Gestaltung von Fertigungs- und Fertigungssteuerungsprozessen

Praktische Erfahrungen und theoretische Untersuchung der Mitglieder der Informationsgruppe „Reihenfolgeprobleme" haben gezeigt, daß aus einer großen Anzahl von bewährten und perspektivreichen Reihenfolgealgorithmen (vgl. dazu msr **24** (1981) H. 9, S. 520—522) die Simulation eine besondere Rolle spielt. Als Beispiele einer vielfachen Bestätigung dieses Sachverhaltes sei hier auf die anwendungsorientierten Simulationsmodelle, Modellsysteme und Simulationssysteme MAO FS, MAO SIM, SIMFERT, SFFS, HIESIM, DISCI, SIMKOM-F, SIMKON-S, SIM-SKR, SAFAS, DS 4000, SIMDIS verwiesen.
Die Planung von Prozeßabläufen sieht die Anwendung von Simulationsmodellen vor allem dazu vor, kurzfristig Varianten möglicher Verhaltensweisen und Entscheidungen ermitteln zu können,

aus denen die unter den gegebenen Bedingungen günstige ausgewählt und durchgesetzt wird. Sowohl bei der Steuerung als auch bei der Rationalisierung von Fertigungsabläufen geht es um die Gewinnung von Erkenntnissen über tatsächlich ablaufende Prozesse unter gegebenen determinierten oder variierenden Bedingungen und die Ermittlung von effektiven Richtungen für Variierungen.
In allen drei Anwendungsaufgaben ist letztlich die Wirkung verschiedener Faktoren unter simulierten und gegebenen Bedingungen auf die Zielrealisierung zu ermitteln, woraus entsprechende Schlußfolgerungen für die Systemstrukturierung und -dimensionierung, die anzuwendende Steuervariante sowie die technologischen, organisatorischen und ökonomischen Voraussetzungen der Fertigungsabläufe abzuleiten sind.
Durchgeführte Untersuchungen mit Hilfe der Simulation haben u. a. zu folgenden Ergebnissen geführt:

— Aus den Simulationsergebnissen lassen sich für die Untersuchung, Rationalisierung und Projektierung verallgemeinerungsfähige Richtlinien für
  . die technologische und organisatorische Gestaltung der Bearbeitungssysteme
  . die Strategie der Steuerung des Werkstückdurchlaufes und die Festlegung ökonomischer Voraussetzungen
  . die Auswahl und Zusammenstellung der zu bearbeitenden Werkstücksortimente
  ableiten.

— Die Ergebnisse der Untersuchung des Verhaltens existierender Prozesse und der Wirksamkeit von Steueralgorithmen bilden im wesentlichen die Grundlage bzw. die Eingangsdaten für ihre Rationalisierung bzw. eine Neuprojektierung.
  In besonderem Maße zeigt sich bei der Projektierung flexibler Fertigungssysteme und der darin sich vollziehenden Fertigungsabläufe, daß die digitale Simulation gegenwärtig die effektivste Möglichkeit der wissenschaftlichen Lösung der Aufgabenstellung darstellt.

— Das Kontinuitätsverhalten der Werkstücke und Arbeitsplätze kann sowohl durch spezielle technologische Merkmale der Werkstücksortimente als auch durch die technologische Gestaltung der Bearbeitungssysteme sowie durch den jeweils angewendeten Steueralgorithmus bestimmt und damit nur aus einer komplexen Analyse dieser Einflüsse abgeleitet werden.

— Die Wirksamkeit spezieller Einflußfaktoren kann überlagert werden, so daß eine allgemeingültige Quantifizierung von Wirkungseinflüssen nur sehr bedingt möglich ist. Die Simulation bietet für eine differenzierte Analyse die besten Voraussetzungen.

— Funktionsfähige Simulationsmodelle von komplizierten Gesamtfertigungsprozessen und ihrer Steuerung lassen sich nur dann entwickeln, wenn Haupt-, Hilfs- und Steuerprozesse der Fertigung (einschließlich der Fertigungsorganisation) nicht getrennt, sondern in ihrem wechselseitigen Zusammenspiel modelliert und ausgewertet werden.
  In diesem Sinne entwickelte und in den Leitungsprozeß eingebundene Simulationsmodelle eröffnen qualitativ neuartige Möglichkeiten einer effektiveren Projektierung, Rekonstruktion und Rationalisierung sowie Planung, Steuerung und Beherrschung komplizierter diskreter Produktionsprozesse.

Insgesamt kann festgestellt werden, daß mit dem Gegenstand der Jahrestagung 1981 die Informationsgruppe „Reihenfolgeprobleme" einen wichtigen Bestandteil des Aufgabenspektrums der IG „OF in der mvI" behandelt und damit auch eine gute Grundlage für die 30. Tagung der Informationsgemeinschaft zum Thema: „Theorie und Praxis der allseitigen Nutzung von Mathematik und elektronischer Rechentechnik in den Betrieben und Kombinaten der metallverarbeitenden Industrie — 1982 —" erarbeitet hat.

msr 7589 *G. Peißker*

Relcomex '81

Die Tagung Relcomex '81 (Reliability and Exploitation of Computer Systems) fand vom 23. bis 25. September 1981 in Książ Castle/VR Polen statt. Veranstalter der Tagung waren das Institut für Kybernetik der TH Wrocław und MERAELWRO.
Die Tagung wurde in 8 Vortragsgruppen durchgeführt:

1. Allgemeine Aspekte der Zuverlässigkeitstheorie
2. Mathematische Modelle und Berechnungsmethoden
3. Diagnose
4. Software-Zuverlässigkeit
5. Fehlertolerante Systeme
6. Rechnernetze
7. Zuverlässigkeit von Rechnersystemen
8. Anwendungen.

Auf der Tagung wurde deutlich, daß folgenden Problemen besondere Bedeutung beigemessen wird:

— fehler- und ausfallsichere Systeme
— Software-Zuverlässigkeit
— Konsequenzen des Einsatzes mikroelektronischer Komponenten bezüglich der Zuverlässigkeit
— Diagnose und Instandhaltung
— Berücksichtigung unterschiedlicher Zuverlässigkeitsniveaus in Verbindung mit Rechnernetzen.

Bei den Vorträgen zu fehlertoleranten Systemen war erkennbar, daß in die Zuverlässigkeitsbetrachtungen zunehmend die Software mit einbezogen wird (Vorträge von *Krawczyk*, *Nowakowski*/VR Polen). Über die Anwendung von speziellen Kodes zur Fehlersicherung in der Digitaltechnik wurde von *Coczyla*/VR Polen (Fibonacci-Code), und *Koscielny*, *Mochnacki*/VR Polen (Pseudo-Random-Folgen), berichtet. Eine Reihe von Vorträgen befaßte sich mit Multiprozessor-Systemen (u. a. *Risztics*, *Zimany*/Ungarische VR, *Jarnicki*/VR Polen). Es standen dabei Fragen der Modellbildung, der Fehlertoleranz, der Diagnose und Überwachung sowie Rekonfigurationsalgorithmen beim Auftreten von Ausfällen im Vordergrund.

Insbesondere im Zusammenhang mit Rechnernetzen wurde in einigen Vorträgen der Versuch einer leistungs- oder niveaubezogenen Zuverlässigkeitsbetrachtung unternommen. Im Vortrag von *Jozwiak*/VR Polen, wurde z. B. bei einem Rechnernetz die (veränderliche) Kapazität des Netzes als Basis für die Definition der Zuverlässigkeit herangezogen. *Graczyk*/VR Polen stellte ein mengenorientiertes Konzept für die Zuverlässigkeitsbewertung vor.

Bei den Vorträgen zur Diagnose und Instandhaltung standen Probleme der rechnergestützten Überwachung (*Chmurzyński*, *Lewos*/VR Polen) und Fragen der Testoptimierung im Mittelpunkt.

Die Kurzfassungen der Vorträge liegen gedruckt vor und können beim Autor des Tagungsberichtes ausgeliehen werden.

Anschrift: Doz. Dr. sc. techn. *E. Michler*, TU Dresden, Sektion Informationstechnik, 8027 Dresden, Helmholtzstr. 18.

msr 7606 *E. Michler*

4. Europäische Werkzeugmaschinenausstellung (EMO)

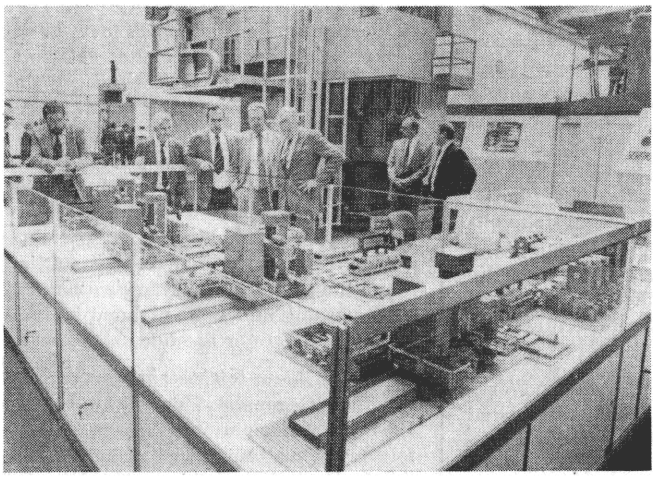


Bild 1. Zur Projektierung von komplexen Fertigungssystemen wird der Fertigungsablauf durch einen Computer simuliert und am Modell veranschaulicht

Bild 2. Elektronisch gesteuerte spanende Werkzeugmaschinen zur automatischen Bearbeitung von Werkstücken

Vom 15. bis 24. September 1981 fand in Hannover (BRD) die 4. „Europäische Werkzeugmaschinenausstellung mit weltweiter Beteiligung" statt (Ausstellungsfläche 141 000 m², 1843 Aussteller aus 34 Ländern).

Maschinen zur Bearbeitung prismatischer Teile zeichnen sich durch eine weitere Erhöhung des Automatisierungsgrades aus, wobei Werkzeugbruchkontrolle, Meßfunktionen in der Maschine und Funktionen zur direkten Prozeßkontrolle zum Standard werden. Die Weiterentwicklung der CNC-Steuerung führt zur Reduzierung des Programmieraufwandes, Hilfs- und Nebenprozesse werden zunehmend automatisiert, die Kompaktbauweise führt zu einer weiteren Minimierung des Flächenbedarfes, Drehzahlen liegen bei max. 4000 min^{-1} und Eilganggeschwindigkeiten bei 10 bis 12 m/min. Umweltfreundlichkeit, Qualität und Zuverlässigkeit der Erzeugnisse gewinnen entscheidend an Bedeutung. Anstrengungen in Richtung des Überganges

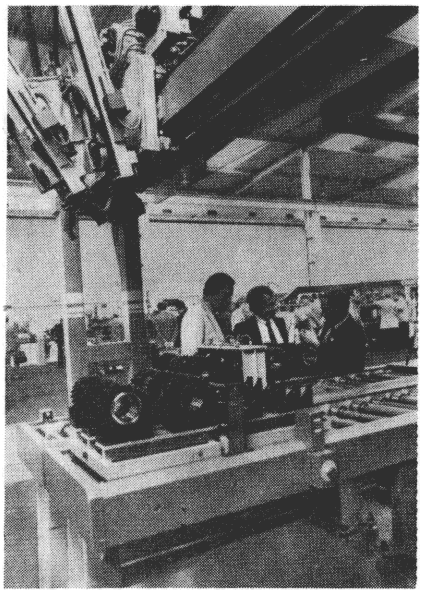
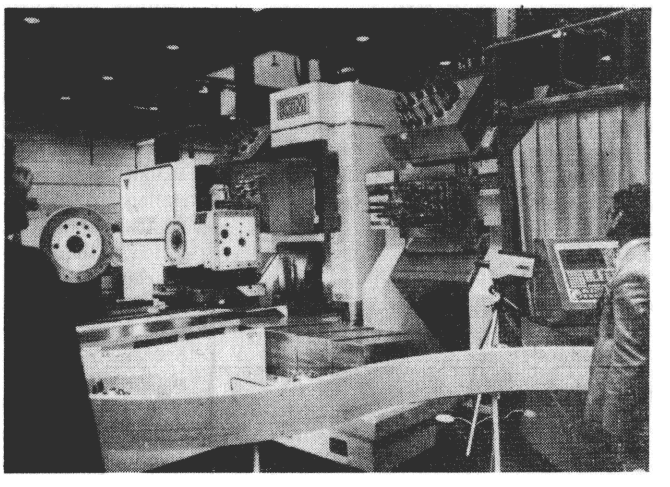


Bild 3. Integriertes Greifersystem zum Werkstücktransport vom Magazin zur Bearbeitung

zum bedienarmen Betrieb sind in Form von Messung und Auswertung von Drehmoment und Stromaufnahme, Integration von Meß- und Prüffunktionen im technologischen Arbeitsablauf sowie Erhöhung der Werkzeugspeicherkapazität zur Aufnahme von Reservewerkzeugen, Meßtastern und Prüfmitteln erkennbar. Maschinen für die Bearbeitung von rotationssymmetrischen Teilen sind gleichfalls für den Einsatz in der bedienarmen Fertigung vorgesehen. Das ist gekennzeichnet durch die Integration der automatischen Werkstück- und Werkzeughandhabung, durch maschinenintegrierte bzw. beigestellte Industrieroboter, durch die Integration der Werkstück- und Werkzeugüberwachung und durch die Bereitstellung von Werkzeugspeichern, die mit dem betrieblichen Transportsystem zum Teil gekoppelt sind. Weitere kennzeichnende Merkmale sind eine durchgängige Anwendung der CNC- und PC-Technik, kompakte Maschinengestaltung, Erweiterung des Zubehörs,

Bild 4. Moderner Arbeitsplatz zur Programmierung von Werkzeugmaschinen und zur optischen Überwachung des Arbeitsablaufs

Bild 5. Bearbeitungszentrum mit automatischem Werkstück- und Werkzeugwechselsystem



moderne Formgestaltung und Einsatz materialökonomischer und dynamisch steifer Gestellkonzeptionen.
Auf dem Gebiet spanender Werkzeuge für Verfahren mit geometrisch bestimmter Schneide sind eine Zunahme beschichteter Wendeschneidplatten, neue energiesparende Spanleitstufen an Wendeschneidplatten zum Abstechen, Einstechen und zur Radienbearbeitung, verstärkter Einsatz von Schneidkeramik und von neuen synthetischen superharten Schneidstoffen erkennbar. Die Direktaufnahme der Wendeschneidplatten durch Lochspannung hat sich weiter durchgesetzt. Bei Flach- und Bandsägen ist der Anteil von Bi-Metall-Werkzeugen dominierend. HSS-Werkzeuge werden in stark erweitertem Umfang titannitridbeschichtet. Senkwerkzeuge sind fast ausnahmslos wendeplattenbestückt, und Maschinen zur Werkzeugherstellung und -instandhaltung werden zunehmend CNC-gesteuert.

Auf dem Gebiet der Automatisierungstechnik ist bei Steuerungen feststellbar, daß die Anzahl der NC-Hersteller weiter steigt und starke Anstrengungen zur Entwicklung bedienarmer Fertigungszellen und Maschinensysteme unternommen werden. Die Steuerungen werden deshalb auch für das Beschicken und Entnehmen von Werkstücken, für die Prozeßüberwachung einschließlich Diagnose, für die Kompensation des Werkzeugverschleißes und für die Messung der Werkstücke eingesetzt.
Antriebe werden überwiegend komplett angeboten, für Vorschubantriebe existieren durchgängige Reihen von Transistorpulsstellern bis 40 A Dauerstrom. In der Positionsmeßtechnik stehen neben induktiven Positionsmeßsystemen gleichberechtigt inkrementale fotoelektrische Systeme zur Verfügung.
Die Fertigungsmeßtechnik wird zunehmend automatisiert und digitalisiert. Dabei werden digitalisierte Systeme an Meßschiebern, Meßschraubern, Meßuhren, Meßtastern und anderen Handmeßgeräten eingesetzt. Analoge induktive und kapazitive Aufnehmer haben einen stark vergrößerten linearen Meßbereich. Durch den Einsatz von Mikroprozessoren können weitere Zusatzfunktionen realisiert werden.

Die Anzahl ausgestellter Industriemanipulatoren und Industrieroboter ist gegenüber vorangegangenen Ausstellungen stark angestiegen. Es wurden Beschikkungseinrichtungen, technologische Montageroboter und leitliniengeführte Transport- und Hubwagen für flexible Maschinensysteme gezeigt. Erstmals wurden auch Meßaufgaben von Industrieroboter realisiert.

Bei Umformmaschinen wurden eine Preßkraftanzeige, eine elektronische Werkzeugüberwachung und Bandvorschubkontrolle mit Digitalanzeige, PIV-Getriebe zur stufenlosen Drehzahlstellung, Diagnose bzw. Funktionskontrolle mit Digitalanzeige oder rechnergestützter Auswertung der Betriebsdaten, eine Schnittschlagdämpfung bei hydraulischen Pressen durch steuerungstechnische Maßnahmen, rechnergestützte Massedosierung beim Knüppelschneiden und der Einsatz von Industrierobotern sowohl bei Massiv- als auch Blechumformung und zum Schneiden demonstriert. Auf dem Gebiet der Rationalisierung der technischen Vorbereitung der Produktion ist ein Trend zur Schaffung autonomer Programmier- und Konstruktionsplätze auf Basis Kleinrechentechnik erkennbar.

Die VEB Werkzeugmaschinenkombinate „Fritz Heckert" Karl-Marx-Stadt, „7. Oktober" Berlin, der VEB Werkzeugkombinat Schmalkalden, der VEB Numerik Karl-Marx-Stadt und der VEB Carl Zeiss JENA demonstrierten mit ihren Erzeugnissen Leistungsstand und Leistungsvermögen unserer Volkswirtschaft.

msr 7612 *K. Keller*

msr DISSERTATION

Strategie zur Lösung topologischer Probleme bei der Projektierung von Automatisierungsanlagen auf der Basis von Mikroprozeßrechnern

Beim Einsatz einer neuen Generation von Automatisierungsanlagen auf der Basis der Mikroelektronik/Mikrorechentechnik ist die Strategie zur räumlichen Verteilung außerordentlich interessant, weil davon folgende Faktoren beeinflußt werden:

— Kosten für Kabel und Installation

— Zuverlässigkeit des Kabelnetzes

— Montagestrategie.

In der Arbeit wird ein Optimierungsverfahren für die Peripheriekosten entwickelt, die sich aus den Leitungskosten, den Kosten für die Anzahl der eingesetzten Mikroprozeßrechner und den Kosten für die funktionell notwendigen Übertragungssysteme zusammensetzen. Dabei werden optimale Standorte für die Mikroprozeßrechner festgelegt.

Durch die Berücksichtigung funktioneller Aspekte (Zusammengehörigkeit der Meß- und Stellglieder, Verkopplungen bei Mehrgrößenregelungen) wird dem Einsatz dieser Strategie im Projektierungsprozeß Rechnung getragen. Auch die Anwendbarkeit auf unterschiedliche Netzstrukturen ist gewährleistet.
Montagetechnologischen Bedingungen bei der Kabelverlegung wurde besondere Aufmerksamkeit geschenkt.
Anhand konkreter Einsatzfälle in der chemischen Industrie wurden Projekte konventioneller Automatisierungsanlagen mit den Einsatzfällen der neuen Anlagengeneration verglichen und die Möglichkeit erheblicher Kabeleinsparungen nachgewiesen. Aus den erzielten Untersuchungsergebnissen werden sowohl Hinweise zur Projektierung derartiger Anlagen abgeleitet als auch Forderungen unter dem Aspekt der Topologie an derartige Systeme gestellt. Zur Unterstützung der Projektanten erfolgt die Abarbeitung des Optimierungsverfahrens über Rechner. Im Ergebnis wird eine Zuordnungsliste „Basissteuereinheit — Meß- und Stellglieder" unter Angaben der Koordinaten der Mikroprozeßrechner bereitgestellt. Zur besseren Übersicht kann auf Wunsch über Plotter die Eintragung der Koordinaten der Basissteuereinheiten in einen Lageplan vorgenommen werden.

W. Bennewitz wurde am 1. Dezember 1932 in Leipzig geboren; 1954 bis 1959 Studium an der Hochschule für Verkehrswesen „Friedrich List" Dresden; 1959 bis 1963 Hauptabteilungsleiter und ab 1964 Betriebsdirektor im VEB GRW Teltow, Betriebsteil Leipzig; 1977 Dissertation A an der Hochschule für Verkehrswesen „Friedrich List". Seit 1979 planmäßiger B-Aspirant und ab 1981 Leiter des Industrie-Hochschul-Komplexes an der Technischen Hochschule Leipzig.
Dissertation B, eingereicht beim Wissenschaftlichen Rat der Technischen Hochschule Leipzig im September 1981.

Doktorand: Dr.-Ing. *W. Bennewitz*
Vorsitzender der Verfahrenskommission: Prof. Dr. sc. techn. *K. Fiedler*
Gutachter: Prof. Dr. sc. techn. *R. Müller*
Prof. Dr. sc. techn. *W. Teichmann*
Prof. Dr.-Ing. *H. Töpfer*
Die Dissertation kann nur über die Bibliothek der TH Leipzig entliehen werden.

msr 7610 Dr. sc. techn. *W. Bennewitz*, TH Leipzig, Industrie-Hochschul-Komplex Anlagenautomatisierung, 7027 Leipzig, Kommandant-Prendel-Allee 66.

Auftragspistole ZIS 11-51 für die Verarbeitung thermoplastischer Schmelzklebstoffe

Einleitung

Für die Zukunft kann eingeschätzt werden, daß die Verwendung thermoplastischer Schmelzklebstoffe (SMK) zunehmen wird. Gegenüber den konventionellen Klebstoffen (lösungsmittelhaltige und chemisch reagierende) zeichnen sie sich durch folgende Vorteile aus:

- extrem kurze Abbindezeiten (1 bis 60 s) bei kurzer Anpreßdauer (3 bis 5 s)
- umweltfreundliche und energiesparende Verarbeitung
- geringer Investitionsaufwand und Platzbedarf der Verarbeitungsanlagen
- eignet sich zum Kleben, Gießen, Abdichten, Einkapseln (als Schutzüberzug gegen Korrosion) und zum Verankern.

SMK sind Thermoplaste, die bei Raumtemperatur in fester Form vorliegen und zur Benetzung der Klebflächen durch Zufuhr von Wärmeenergie verflüssigt werden und anschließend durch Abkühlung erstarren und damit abbinden.
In der DDR stehen z. Z. etwa 15 verschiedene Schmelzklebstofftypen mit unterschiedlichen Eigenschaften und Lieferformen (Pulver, Granulat, Strang, Block) zur Verfügung.

Auftragspistole ZIS 11-51

Das neu entwickelte Gerät wurde für die Verarbeitung der in der DDR produzierten SMK-Typen konzipiert. Es stehen drei Varianten zur Verfügung:

- Variante I: Gerät mit Einhandbedienung, vorgesehen für eine spätere Serienfertigung (Bild 1)
- Variante II: Gerät mit Einhandbedienung, vorgesehen für die sofortige Nachnutzung (Bild 2, links)
- Variante III: Gerät mit Zweihandbedienung, vorgesehen für die sofortige Nachnutzung (Bild 2, rechts). Das Gerät eignet sich besonders zur Verarbeitung von SMK 327/10 der Vereinigten Klebstoffwerke Pirna bei möglichst kontinuierlichem Klebstoffauftrag.

Geräteaufbau und Funktion

Alle drei Varianten haben den gleichen Grundaufbau. Der Klebstoffauftragspistole vorgeschaltet ist jeweils ein Steuergerät.
ZIS 11-51 besteht aus einem zylindrischen Schmelzbehälter zur Aufnahme des Klebstoffgranulats bzw. -pulvers, der

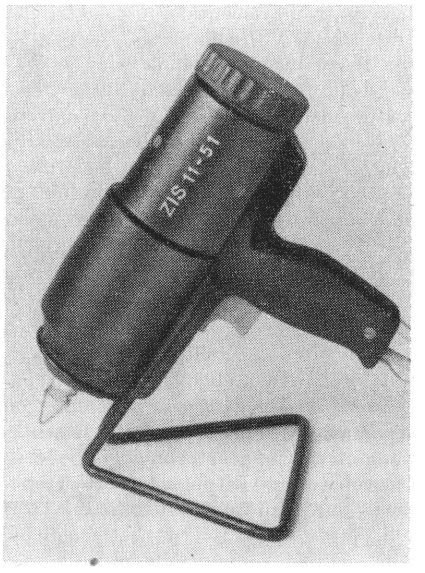


Bild 1. Auftragspistole ZIS 11-51 (Funktionsmuster)

mit einem pistolenförmigen Gehäuse umgeben ist. Der Behälter hat einen Schraubverschluß. Hinter der auswechselbaren Düse ist ein Spezialventil angeordnet, das bei Variante I und II durch einen Abzughebel und bei Variante III durch einen Hebel direkt an der Düse zum Zweck des Klebstoffauftrages betätigt wird. Am unteren Griffende befinden sich die Anschlüsse für die Verbindung mit dem Steuergerät (Heizung bzw. Temperaturregelung) und für Preßluft zur Förderung der Klebstoffschmelze.

Das Gerät wird bei Nichtbenutzung in einem entsprechenden Ständer abgelegt. Alle eingesetzten Werkstoffe und Bauteile sind in der DDR handelsüblich.

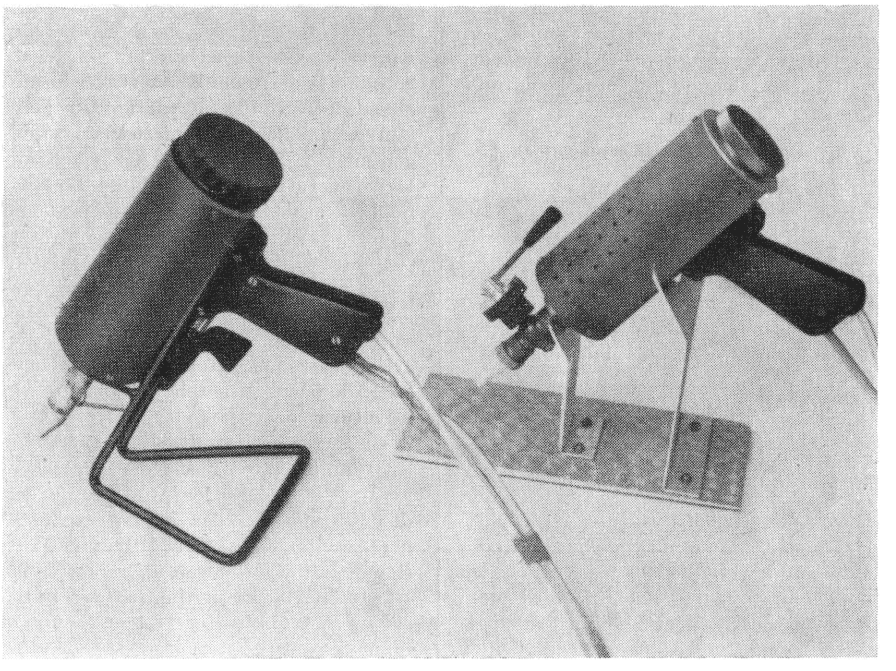
Steuerteil

Zur Temperaturkonstanthaltung sind zwei Möglichkeiten vorgesehen. Es handelt sich einmal um den Einsatz eines elektronischen Temperaturreglers der Typen 01-W oder RK 40 (VEB Wetron Weida). Der dabei erforderliche Fühler ist ein Widerstandsthermometer vom Typ Pt 100 und wird direkt an den Ringheizkörper montiert. Die erreichbare Temperaturkonstanz beträgt ± 2 K. Bei der zweiten Variante erfolgt die Temperaturwahl über eine Spannungssteuerung mit Hilfe elektronischer Steller (DS 79). Hierbei kann eine zusätzliche Zeitsteuerung erfolgen, die die Aufschmelzzeit verkürzt. Die Abweichungen von der Solltemperatur resultieren in diesem Fall von den Netzspannungsschwankungen.

Technische Daten

Anschlußwerte elektrisch:	220 V/50 Hz/250 W
pneumatisch:	Preßluft $\leq$ 0,4 MPa
Schmelzbehältervolumen:	225 cm
Einfüllmenge:	$\leq$ 100 g Granulat
Schmelztemperatur:	bis 210 °C
Düsendurchmesser:	1 ... 3 mm
Aufheizzeit:	15 bis 20 min
Masse:	1,3 kg
Abmessungen: (Länge × Breite × Höhe)	(275 × 84 × 190) mm³

Bild 2. SMK-Auftragspistolen für betriebseigenen Rationalisierungsmittelbau



Vorteile

Der Einsatz der Pistole ZIS 11-51 bringt folgende Vorteile:

- direkte Verarbeitung von SKS-Granulat
- Ablösung von entsprechenden Importgeräten aus dem NSW
- Substitution konventioneller Klebstoffe bzw. Klebtechnologien
- Ablösung konventioneller Fügeverfahren, wie Schrauben, Nieten, Klammern, Löten und Schweißen.

Anwendung

Die Auftragspistole ZIS 11-51 eignet sich zum punkt- und linienförmigen Auftragen thermoplastischer Schmelzklebstoffe. Hauptanwendungsgebiete sind der Montage-, Reparatur -und Verpackungssektor. Mit- und untereinander verklebt werden können:

Metalle, Plaste, Elaste, Holz, Hartfaserwerkstoffe, Textilien, Leder, Glas, Keramik, Beton, Schaumstoffe, Folien, Pappe, Papier usw.

Als Anwender kommen in Frage:

- Auto- und Autozubehörindustrie
- Elektro- und Elektronikindustrie
- Rundfunk-, Fernseh- und Phonoindustrie
- Gerätehersteller (z. B. Haushaltsgeräte)
- Spielzeug- und Schmuckwarenhersteller
- Möbelindustrie
- Polstereien
- Ausbildungs-, Betriebs-, Instituts- und Theaterwerkstätten
- Modellbau, Handwerksbetriebe, Hobbybereich.

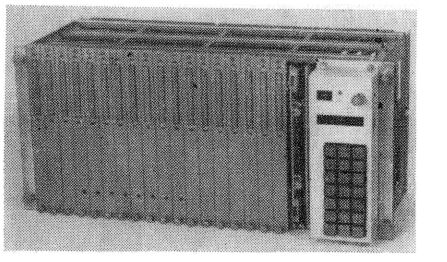
Nachnutzung

Volkseigene- und Handwerksbetriebe, die an der Produktion (Variante I) oder Nachnutzung (Varianten II und III) des Gerätes ZIS 11-51 interessiert sind, wenden sich an:
ZIS Halle, Abt. Rationalisierung Berlin, AG 705, 1110 Berlin, Wackenbergstr. 84—88.

msr 7614 *P. Schöne, W. Bader*

„Q" für SPS ursalog 5020

Dem Kombinat VEB Elektro-Apparate-Werke Berlin-Treptow „Friedrich Ebert" wurde für die speicherprogrammierbare Steuereinrichtung ursalog 5020 das Gütezeichen „Q" zuerkannt. Das Erzeugnis umfaßt die Grundeinheit ursalog 5020 zur Realisierung der Steuerfunktionen und ein Programmiergerät ursatron 5000 für die Programmierung der Grundeinheit und Rückführung des Programmtestes. Die Grundeinheit ursalog 5020 ist eine mikroprozessorgesteuerte Einrichtung für mittleren bis großen Verarbeitungsumfang zur Steuerung von Aggregaten der verfahrenstechnischen Industrie und von Verarbeitungsmaschinen und wurde im kombinatseigenen Forschungszentrum, dem Institut für Regelungstechnik, entwickelt. Sie verfügt über eine hohe Stör- und Zerstörfestigkeit für die Prozeßsignalanpassung und einen effizienten Eigentest. Ein leistungsfähiges Betriebssystem sichert die Abarbeitung von Teilen des Anwenderprogramms auf verschiedenen Prioritätsebenen im zyklischen Betrieb sowie auf Interruptanforderungen. Die Programmierung und der On-line-Programmtest erfolgen unter Anwendung der für ursalog 5020 geschaffenen Fachsprache PROLOG 2. Das Programmiergerät verfügt über leistungsfähige Dienstprogramme und realisiert die Übersetzung des in PROLOG 2 formulierten Anwenderprogramms in die Maschinensprache des Mikroprozessors.

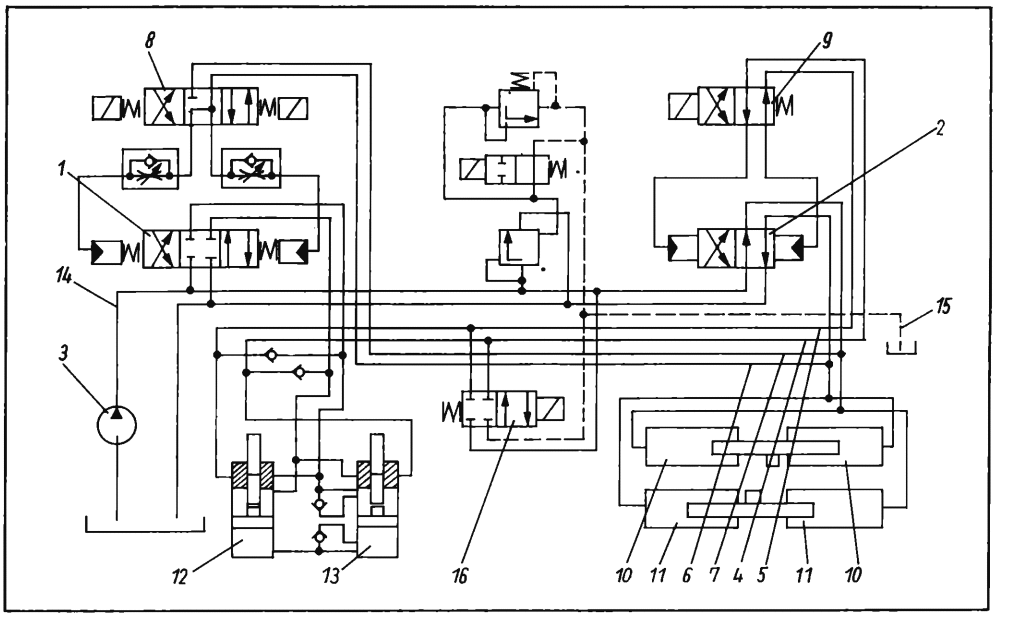


Das Bild zeigt eine Grundeinheit ursalog 5020 ohne die zugehörigen Stromversorgungseinrichtungen.

msr 7613 *L. Könitzer*

msr PATENTREFERATE

Einrichtung zur hydraulischen Folgesteuerung von Zweikolbenpumpen, insbesondere Betonpumpen



1, 2 **Hauptsteuerwegeventile;** ***3*** **Druckstromerzeuger;** ***4, 5, 6, 7*** **Steuerleitungen;** ***8, 9, 16*** **Vorwahl-Vorsteuerwegeventile;** ***10, 11*** **Absperrschieberzylinder** ***12, 13*** **Förderzylinderantriebszylinder;** ***14*** **Druckleitung;** ***15*** **Leckleitung**

DDR-WP 139442, Klasse F 04 B, Gruppe 15/02, 1 Anspruch, 1 Zeichnung, Anmeldung: 10. November 1978, Ausgabe: 2. Januar 1980, Inhaber: *G. Würker*, Dipl.-Phys. *F. Fischer*

Die Erfindung betrifft eine hydraulische druck- und wegeabhängige Folgesteuerung von hydraulischen Zweikolbenpumpen für dickflüssige oder körnige Stoffe, insbesondere Beton. Das Ziel der Erfindung besteht in der Senkung des Masseeinsatzes der Steuerung und in der Erhöhung des Wirkungsgrades der gesamten Anlage. Außerdem soll der Bedienkomfort erhöht und die Gefahrensituation für die Bedienperson bei Arbeiten an der Betonpumpe beseitigt werden.

Die Erfindung besteht darin, daß zwei die Folgesteuerung realisierende, zu- und ablaufseitig parallelgeschaltete und weg- bzw. druckabhängig hydraulisch gesteuerte Hauptsteuerwegeventile *1*, *2*, wobei je ein Ventil eine Verbrauchergruppe steuert, die zwischen dem Druckstromerzeuger *3* und den Verbrauchern angeordnet sind, deren Steuerleitungen *4* bis *7* zur Vorwahl der Betriebsarten vorwärts, rückwärts und druckloser Umlauf über jeweils ein elektromagnetisch gestelltes Vorwahl-Vorsteuerwegeventil *8*, *9* geführt sind, wobei das Vorwahl-Vorsteuerwegeventil *9* für die Absperrschieberzylinder *10*, *11* zwei und das für die Förderzylinderantriebszylinder *12*, *13* drei Schaltstellungen hat. Zwischen den Steuerleitungen *4*, *5* des Hauptsteuerwegeventils *2* für die Absperrschieberzylinder *10*, *11* einerseits und der Druckleitung *14* bzw. der Leckleitung *15* andererseits ist zur Vorwahl der Betriebsart „Absperrschieber freischlagen" ein weiteres elektromagnetisch gestelltes Vorwahl-Vorsteuerwegeventil *16* mit zwei Schaltstellungen angeordnet.

Die Steuerung ermöglicht eine einfache und leichte Handhabung mit hohem Bedienkomfort, z. B. Möglichkeit zur Vorwahl der Betriebsart und elektrische Fernbedienung, und weist eine geringere Anzahl an Hauptsteuerwegeventilen auf, wodurch eine niedrigere Masse und über die niedrigeren anlagenbedingten Druckverluste ein höherer Wirkungsgrad der Hydraulikanlage erreicht wird.

msr 7493

Hydrauliksteuerung für steuerkolbenlosen Eilgangkolbenzylinder, insbesondere für Schnellschneidemaschinen

DDR-WP 139743, Klasse F 15 B, Gruppe 11/02, 2 Anspruchspunkte, 1 Zeichnung, Anmeldung: 1. November 1978, Ausgabe: 16. Januar 1980, Inhaber: Dipl.-Ing. *E. Frank*; Dipl.-Ing. *K. Prager*; *E. Obst*

Die Erfindung betrifft eine Hydrauliksteuerung, insbesondere für Schnellschneidemaschinen für blättrige Stoffe, zur Bewegung des Preßbalkens und zur Preßkraftanpassung, Das Ziel ist, auch bei beibehaltener hoher Beschleunigung des Eilgangkolbens eine sehr geringe Preßkraft mit einfachen Preßzylindern zu erzielen. Die Erfindung ist anwendbar für Schnellschneidemaschinen aller Größen, an denen blättrige und/oder empfindliche Stoffe, z. B. Seidenpapier, geschnitten werden.

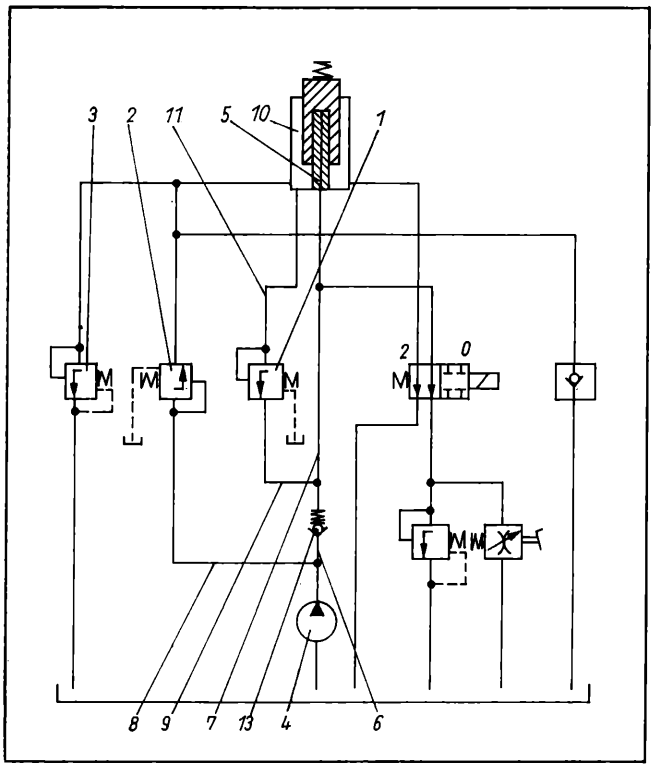
Die Erfindung besteht darin, daß ein ablaufdruckentlastetes, eigengesteuertes Druckbegrenzungsventil als Druckabsenkventil *1* mit einem weiteren ablaufdruckentlasteten, eigengesteuerten Druckbegrenzungsventil als Beschleunigungsventil *2* und einem dritten eigengesteuerten Druckbegrenzungsventil als Preßdruckregelventil *3* so angeordnet sind, daß an einen von einer Pumpe *4* zum Eilgangraum *5* führenden Pumpenleitungsabschnitt *6*, *7* das Beschleunigungsventil *2* über eine Zulaufleitung *8* mit seinem Zulaufanschluß und das Druckabsenkventil *1* mit seinem Ablaufanschluß über eine Ablaufleitung *9* an den Pumpenleitungsabschnitt *7* angeschlossen ist und das Beschleunigungsventil *2* ablaufseitig mit dem Preßraum *10* des Zylinders und dem Zulaufanschluß des Druckabsenkventils *1* über eine Druckleitung *11* und dem Zulaufanschluß des Preßdruckregelventils *3* verbunden ist und der Ablaufanschluß des Preßdruckregelventils *3* zum Behälter *12* führt.

Ein weiteres Merkmal der Erfindung ist, daß im Pumpenleitungsabschnitt *6*, *7* von der Pumpe *4* zum Eilgangraum *5* nur ein Rückschlagventil *13* angeordnet ist.

Der Vorteil der erfindungsgemäßen Anordnung besteht darin, daß die geringe Preßkraft mit einer Steuerung erreicht wird, deren Eilgangkolben-Zylinder keinen internen Steuerkolben hat, die auf standardisierten Druck-, Wege- und Sperrventilen aufbaut und die durch die Einstellbarkeit der Druckbegrenzungsventile für verschiedene Schneidemaschinengrößen einsetzbar ist. Weiterhin ist vorteilhaft, daß der Druckimpuls für das Öffnen des Druckabsenkventils und damit für das Wirksamwerden des niedrigen Preßdruckes auch im Eilgangraum vom Preßraum ausgeht und die Höhe dieses Druckimpulses einstellbar ist.

Ein weiterer Vorteil besteht noch im rückfederungsarmen Verhalten des Preßbalkens beim Übergang vom Eilgang zum Pressen, indem in der Phase des Überganges ein Flüssigkeitsrückfluß aus dem Eilgangraum infolge Federwirkung des Preßgutes über das geöffnete Beschleunigungsventil durch das Rückschlagventil in der Pumpenleitung unterbunden wird, so daß die Ölsäule im Eilgangzylinder im Moment des Überganges eingespannt bleibt.

msr 7495



***1*, *2*, *3* Druckabsenkventile; *4* Pumpe; *5* Eilgangraum; *6*, *7* Pumpenleitungsabschnitt; *8* Zulaufleitung; *9* Ablaufleitung; *10* Preßraum; *11* Druckleitung; *12* Behälter; *13* Rückschlagventil**

150 Jahre Induktionsgesetz

Oerstedt, Ampère, Faraday, Lenz, Henry, Weber, Siemens -- wem sind nicht die Namen von Naturwissenschaftlern und Technikern geläufig, die seinerzeit mit ihren Entdeckungen und Erfindungen die wissenschaftlichen und technischen Grundlagen der Elektrodynamik und Elektrotechnik schufen, ohne die unser heutiges Leben undenkbar wäre. Tafel 1 gibt einen Überblick über Stationen und Details, über Namen und Begriffe aus der Zeit der frühen Elektrodynamik, deren Beginn mit der Entdeckung des Elektromagnetismus durch *H. Ch. Oerstedt* datiert wird, deren Ausgang wir vielleicht mit dem Bau der dynamoelektrischen Maschine durch *Werner von Siemens* — aus der Sicht des Technikers — und mit der mathematischen Formulierung der elektrodynamischen Grundgesetze durch *J. C. Maxwell* — aus der Sicht des Theoretikers — ansetzen dürfen [1] und [2].

Was die Tafel nicht enthält, sind die Ergebnisse und die Bemühungen derjenigen, die mit ihren Überlegungen, Versuchen und Experimenten nicht erfolgreich waren, die aber gerade durch ihr Mitwirken das in seinen Grenzen unbekannte Terrain abzustecken halfen. Bedenken wir zweierlei Umstände:

statt wissenschaftlicher Hypothesen gab es vage, unklare Vermutungen über Zusammenhänge der Naturerscheinungen, und die Methodik des Arbeitens war Versuch und Irrtum, so daß erst aus der Menge der Beobachtungen das Wesentliche erkannt werden konnte. Vor *Oerstedts* erfolgreichem Versuch z. B. waren die Elektrizität aus galvanischer (d. h. aus chemischer und aus tierischer) Quelle und als Reibungselektrizität einerseits und der Magnetismus andererseits in einigen Wirkungen, aber keineswegs in ihren Ursachen bekannt, und der Zusammenhang zwischen beiden war eine Vermutung. Mit der Vermutung wurde ein Ziel bestimmt; der Weg, den mit *Oerstedt* viele andere gingen, war unbekannt.

Was die Tafel 1 nur ahnen läßt, ist die Dynamik der Entdeckungsgeschichte, sind die Zusammenhänge, sind die Verbindungen zwischen den Naturwissenschaftlern, sind die Gedanken und Beweggründe des einzelnen und dieser Zeit. Die Suche nach dem Unbekannten, nach dem Neuen beherrschte vor allem *Faraday*, wobei er sich der wissenschaftlichen und praktischen Tragweite und Anwendbarkeit seiner Entdeckungen durchaus bewußt war, so daß er sich wohl die Maxime erlauben durfte, sich um die praktische Verwertung (in heutigem Sprachgebrauch: Überführung in die Praxis) seiner oder anderer Entdeckungen nicht zu bemühen [3] und [4]. Als Pendant zu ihm muß man *Siemens* oder *Henry* sehen, deren Bemühen vorzugsweise auf die Nutzung der wissenschaftlichen Erkenntnisse ihrer Zeit gerichtet war, und die auf dieser Basis zu entscheidenden wissenschaftlichen Ergebnissen kamen: *Henry* beim Bau starker Elektromagneten zur Selbstinduktion, *Siemens* auf der Suche nach effektiver Stromerzeugung zum dynamoelektrischen Prinzip. Wenn aus dieser Zeit vor 150 Jahren die Entdeckung des Induktionsgesetzes besonders hervorgehoben und gewürdigt

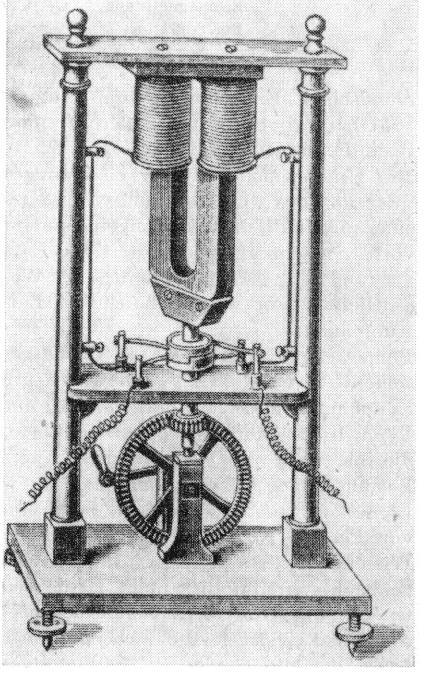


Bild 1. Magnetelektrische Maschine von *Pixii*, 1832 [9]

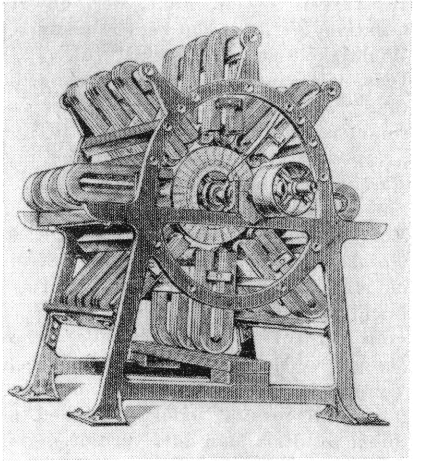


Bild 2. *Nollets* magnetelektrische Maschine, erbaut von der Gesellschaft L'Alliance, 1859 [9]

Tafel 1. Entdeckungen und Erfindungen zur frühen Elektrodynamik und Elektrotechnik [1] und [2]

1820 *Oerstedt:*	Ablenkung der Magnetnadel am stromführenden Draht
Arago; Davy:	Magnetisierung des Eisens
Schweigger; Poggendorf:	Multiplikator = Nadelgalvanometer
1821 *Ampère:*	(elementare) Kreisströme als Ursache des Magnetismus, Solenoid als (makroskopisches) Modell
1823 *Ampère:*	„Theorie der elektrodynamischen Phänomene"
1824 *Arago:*	Drehung der Magnetnadel über rotierender Kupferscheibe („Rotationsmagnetismus")
1825 *Sturgeon:*	(einlagiger) Elektromagnet mit Eisenkern
1825 *Sturgeon; Moll; Christie:*	Beobachtung der Remanenz
1830 *Henry:*	mehrlagiger Elektromagnet („Intensitätsmagnet")
1831 *Faraday:*	Entdeckung der elektromagnetischen Induktion, „Volta-Induktion" $\rightarrow U = A \cdot \mathrm{d}B/\mathrm{d}t$ „Magnet-Induktion" $\rightarrow U = B \cdot \mathrm{d}A/\mathrm{d}t$
1832 *Pixii:*	erste (2polige) magnetelektrische rotierende Maschine (Bild 1) (Wechselstrom, mit Ampèrescher Wippe (Gleichstrom)
Henry:	Selbstinduktion
1833 *Lenz:*	Richtungssinn des induzierten Stromes
Gauß-Weber:	Elektromagnetischer Telegraf (mit Spiegel)
Ritchie:	Kommutator zur Wechselstrom-Gleichrichtung; elektromagnetische (Fremd-) Erregung der magnetelektrischen Maschinen
1837 *Morse:*	schreibender elektromagnetischer Telegraf (1840 Taster, 1843 Alphabet)
1838 *Moigno; Raillard:*	Strom einer fremderregten Maschine kann größer als der Erregerstrom sein
1842 *Woolrich:*	Antrieb magnetelektrischer Maschinen mit Dampfmaschinen
1843 *Stöhrer:*	Mehrpolmaschine (6polig)
1846 *Weber:*	„Elektrodynamische Maßbestimmungen"
Neumann:	nennt als allgemein bekannt, daß die induzierte Spannung der Bewegungsgeschwindigkeit proportional ist
1849 *Lenz:*	Ankerrückwirkung
1851 *Sinsteden:*	Vorschlag Kettenschaltung fremderregter Maschinen
1851 *Hjorth:*	Entdeckung der Selbsterregung magnet-elektrischer Maschinen (bei anfänglicher Fremderregung)
1861 *Sinsteden:*	Fremderregte Maschine mit zusätzlicher Selbsterregung
1863 *Whitmell:*	Vorschlag selbsterregter Maschinen mit abschaltbarer anfänglicher Fremderregung
1866 *Siemens:*	Ausnutzen der Remanenz als Anfangserregung für selbsterregte Maschine („dynamoelektrisches Prinzip")
1873 *Maxwell:*	System der elektrodynamischen Grundgleichungen

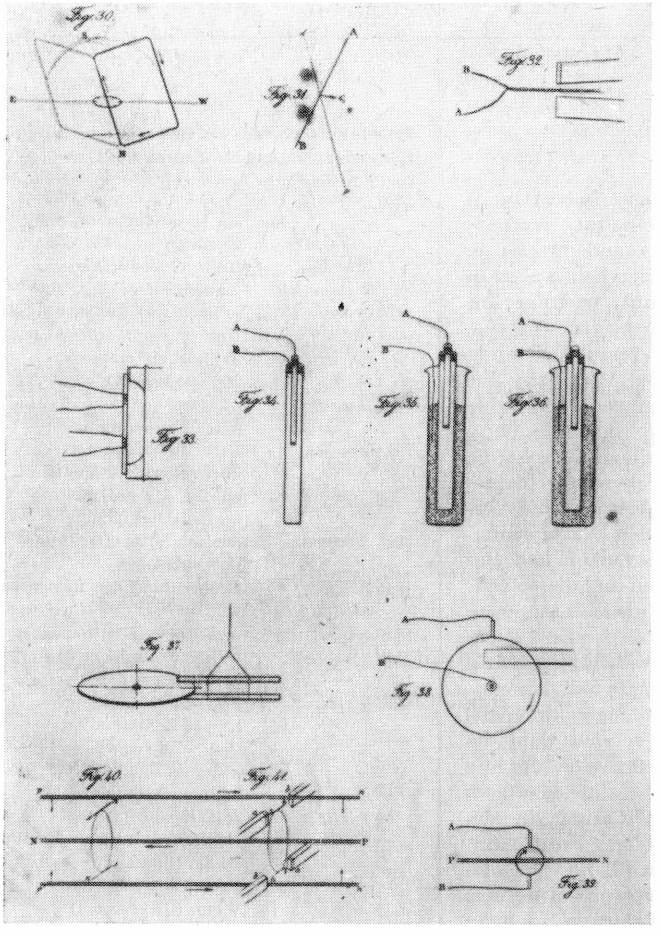


Bild 3. *Faradays* Skizzen zu seinen Experimentaluntersuchungen über Elektrizität, Serie II [3]. Fig. 30/31: Induktion durch Erdmagnetfeld; Fig. 32/33: Induktionswirkung in verschiedenen Metalldrähten; Fig. 34 — 41: Induktionseffekte an Magneten, Scheiben und Drähten

Tafel 2. Faradays Arbeiten zur Elektrodynamik bis zur Entdeckung des Wirkungsprinzips der Induktion [5]

21. Mai 1821	Ablenkung des Lichtbogens und elektrischer Funken im Magnetfeld
3./10. September 1821	Wiederholung der bekannten Experimente von *Oerstedt*, *Ampère* u. a.
21.—25. Dezember 1821	Elektromagnetische Versuche im Erdmagnetfeld: Rotation eines Stromes im Erdmagnetfeld
18.—28. Januar 1823	Rotationsversuche: Rotation eines Magnetpols um einen Strom, eines Stromes um einen Magneten
9. September 1823	Untersuchungen an elektrochemischen Stromquellen mit Nadelgalvanometer
17. November 1823	
28. Dezember 1824	Suche nach Einwirkung eines Magneten auf den Strom in einem geraden Draht und in einer Spule [6]
28. November 1825	Suche nach induziertem Strom in einem zum stromführenden Leiter parallel liegenden Draht
2. Dezember 1825	Versuche an Aragos Scheibe mit elektrischen Ladungen
26. Februar 1828	Suche nach einer Längenänderung bei Magnetisierung von Weicheisenstäben
22. April 1828	Suche nach Wechselwirkung zwischen Stabmagnet und (exzentrisch drehbar aufgehängtem) Drahtring
29. August 1831	Entdeckung des induzierten Stromes in der zweiten Spule beim Einschalten und Unterbrechen des Stromes in der ersten Spule eines geschlossenen Weicheisenringes (Bild 4, Fig. 1)
28. Oktober 1831	Stromerzeugung an rotierender Scheibe im Magnetfeld (Bild 4, Fig. 7 und 9 ff.) (Urmodell der Unipolarmaschine)
Vorträge der „Experimental-Untersuchungen über Elektrizität" vor der Royal Society of London [3] und [4] am	
24. November 1831	(Serie I): Entdeckung der induzierten Ströme
12. Januar 1832	(Serie II): Induktion durch Erdmagnetismus (Bild 3, Fig. 30/31)

werden soll, dann aus zwei Gründen: einerseits stellt dieses Ereignis eine wesentliche wissenschaftliche Leistung dar, andererseits spiegelt die Entdeckungsgeschichte dieses Gesetzes so recht das Typische einer Wissenschaftsentwicklung schlechthin wider.

Sehen wir zunächst auf die wissenschaftliche Leistung! Nach dem der Oerstedtsche Versuch so überzeugend den vermuteten Zusammenhang zwischen Elektrizität und Magnetismus bestätigte und die Ampèreschen Experimente an der stromdurchflossenen Drahtschleife und Spule (Solenoid) deren magnetische Eigenschaften aufklärten, so war der Gedanke, daß es auch die Umkehrung geben müßte, Elektrizität aus dem Magnetismus zu gewinnen, gar nicht so abwegig (zumal der Gedanke der Wandelbarkeit physikalischer Kräfte mit dem zunehmenden Erkenntnisgewinn seinerzeit in der naturwissenschaftlichen Welt Fuß faßte). *Faraday* begann auch schon bald, nachdem er die bekannten elektromagnetischen Erscheinungen in eigenen Versuchen studiert sowie um neue Erkenntnisse — z. B. die Rotation von Strom und Magnetpol umeinander — erweitert hatte, mit der Suche nach dem durch Magnetismus induzierten elektrischen Strom. In der Tafel 2 sind die elektromagnetischen Arbeiten *Faradays* bis zur Entdeckung des Induktionsgesetzes nach den Daten seines Tagebuches [5] zusammengestellt. Hieraus ist zunächst der Versuch vom Dezember 1824 hervorzuheben, mit dem die Suche nach der Umkehrung des elektromagnetischen Effektes beginnt. Obwohl das Ergebnis negativ war, hielt *Faraday* es doch für so wichtig, daß er diese Untersuchungen veröffentlichte und zusammenfassend dazu schrieb:

„Doch es scheint, daß, so kräftig auch immer die Wirkung eines elektrischen Stromes auf einen Magneten sein mag, der letztere durch Rückwirkung keine Tendenz hat, ersteren zu schwächen oder zu stärken — ein Fakt, der, obwohl negativer Art, mir von bemerkenswerter Wichtigkeit zu sein scheint" [6].

Dies, wie auch die späteren Versuche (und vor allem seine etwas später zusammengefaßten Darstellungen in den „Experimental Researches") zeigen, daß *Faraday* sich die Rückwirkung Magnetismus — Elektrizität als einen stationären Vorgang dachte, etwa analog zum Elektromagnetismus, wo ein steter Strom ein stetes Magnetfeld erzeugt. Die Tagebuchnotizen zu den erfolglosen Versuchen vom April 1828 enthalten aber schon etwas vorsichtigere Formulierungen, wenn er jeweils bemerkt: „. . . obtained no useful results" oder „obtained no direct results". Man darf vermuten, daß *Faraday* bei der Annäherung des Magneten an den schwebend aufgehängten Drahtring wohl eine Reaktion bemerkte, diese jedoch nicht dem gesuchten Effekt zuschrieb. Erst durch eine Vielzahl von Versuchen unterschiedlichster Art wird er auf den typisch instationären Charakter des gesuchten Effektes aufmerksam, der sich besonders deutlich bei dem klassischen Experiment vom August 1831 hervorhob, da hier äußere, fremde Beeinflussungen ausgeschlossen sind.

Die Erkenntnis, daß hier eine andere Qualität des Umwandlungsvorganges einer physikalischen Kraft in eine andere vorlag, macht als Bestandteil der Entdeckung des gesuchten Effektes das Wesentliche dieser wissenschaftlichen Leistung aus.

Bemerkenswert an der Entdeckungsgeschichte des Induktionsgesetzes ist, um es nochmals zu sagen, daß *Faraday* mit Versuchsanordnungen experimentierte, die ihn schon vor 1831 auf die richtige Lösung hätten bringen können.

Bemerkenswert ist aber auch, daß schon vor *Faraday's* Erkenntnis 1831 andere Wissenschaftler den Induktionseffekt beobachteten, ihn aber nicht zu deuten wußten bzw. ihn nicht weiter beachteten. Dazu gehört der Versuch von *Arago* 1824, der die rasche Dämpfung einer

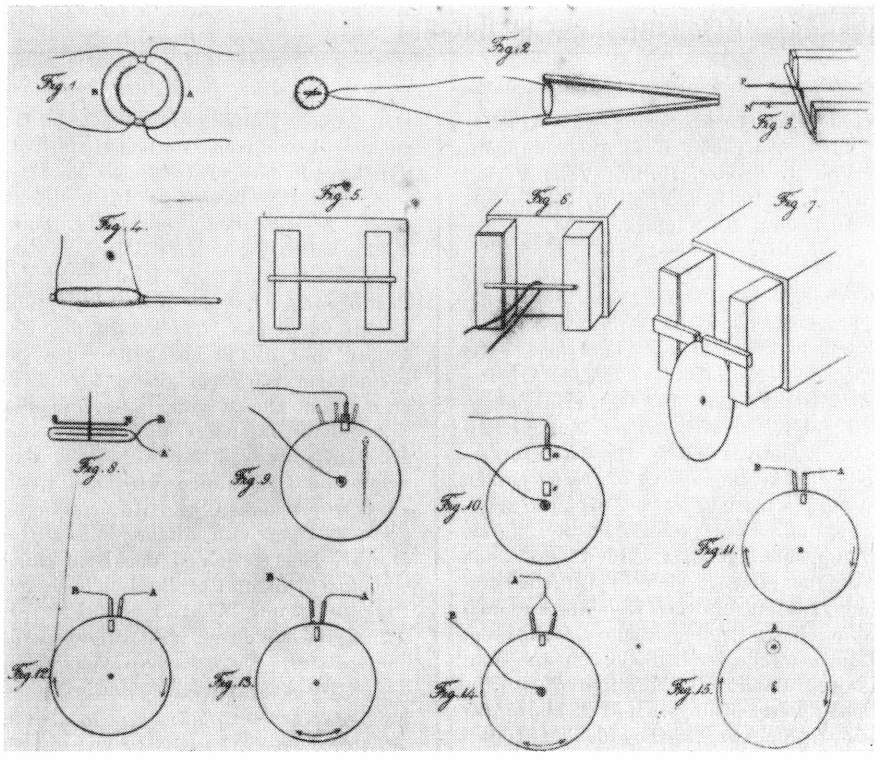


Bild 4. *Faradays* Skizzen zu seinen Experimental-Untersuchungen über Elektrizität [3].
Fig. 1: Volta-elektrische Induktion; Fig. 2ff: Magneto-elektrische Induktion; Fig. 8: Doppel-Nadel-Galvanometer; Fig. 7: Anordnung für die in den Fig. 9—15 dargestellten Induktionsexperimente

schwingenden Magnetnadel über einer Kupferscheibe und die Mitnahme der Magnetnadel durch die rotierende Scheibe beobachtete, was *Faraday* richtig als Induktionswirkung erklären konnte, und was ihn zu den klasssischen Versuchen vom Oktober und Dezember 1831 anregte: Stromerzeugung an der im künstlichen und Erdmagnetfeld rotierenden Scheibe.

Dieses Urmodell der Unipolarmaschine kommentierte er mit dem Satz: „Hence *Arago's* plate a new Elektrical machine" (Electrical machine im Sinne von Elektrisiermaschine).

Etwas anders gewichtet ist die Beobachtung *Ampères*, die er bei Versuchen 1822 gemeinsam mit *de la Rive* machte, um die Natur des Magnetismus auf der Grundlage von Elementar-Kreisströmen experimentell zu simulieren: die beim Ein- und Abschalten einer Magnetspule bemerkte Abstoßung und Anziehung eines Metallringes vor der Spule erklärten sie dahingehend, daß die Elementarströme möglicherweise (erst) induziert werden.

Henry schließlich, mit der Entwicklung starker (mehrlagiger) Elektromagnete beschäftigt, beobachtete im August 1831 — also etwa gleichzeitig mit *Faraday* — an einer über das Joch gezogenen (Sekundär-)Wicklung eine Stromwirkung beim Ein- und Abschalten des Magnetisierungsstromes, wahrscheinlich um die magnetische Wirkung im Joch zu kontrollieren, sicher jedoch nicht, um eine Induktionserscheinung als Umkehrung des Elektromagnetismus nachzuweisen. Daß sich *Ampère* und auch *Henry* der Bedeutung ihrer Beobachtungen erst nach der Publikation der Faradayschen Erkenntnisse bewußt wurden, ersieht man an den von ihnen geäußerten Prioritätsansprüchen.

Insgesamt gesehen macht dieser Exkurs in die Entwicklungsgeschichte des Induktionsgesetzes deutlich: Entdeckungen und Erfindungen hatten nichts mit Zufall oder Glück allein zu tun. Und das Sprichwort „Glück hat nur der Tüchtige" ist ja auch eine Erkenntnis unserer Altvordern, die mit der mitunter gar nicht scherzhaften Bemerkung, früher sei das Finden und Erfinden ja auch leichter gewesen, weniger denn je zu entkräften ist.

Die ersten technischen Anwendungen des Induktionsgesetzes beim Telegraf (*Gauß* und *Weber*) und bei magnet-elektrischen Maschinen zur Stromerzeugung sind allgemein bekannt. Die Entwicklung von elektrischen Telegraphen vollzog sich damals wesentlich rascher als die von Stromgeneratoren: einerseits waren die vorherrschenden optischen Telegrafen-Relais-Strecken sehr aufwendig, andererseits erforderte der Ausbau des Eisenbahnnetzes ein schnelles, billiges und zuverlässiges Nachrichtensystem.

Stromerzeugung für großtechnische Anwendungen ist im Zusammenhang mit der Entwicklung der Chemie und Metallurgie zu sehen: Galvanoplastik, Schmelzflußelektrolyse. Hier benötigte man höhere und dauerhaftere Ströme, als sie galvanische Batterien wirtschaftlich und technologisch erzeugen konnten. Zeitlich gesehen fällt dies in die beginnenden vierziger Jahre des vorigen Jahrhunderts (also nur rd. 10 Jahre nach der Entdeckung des Induktionsgesetzes!). Bis dahin entstanden zahlreiche Varianten von magnet-elektrischen Maschinen, hergestellt vielfach von findigen Mechanikern, zu denen auch *Pixii* gehörte (der übrigens viel für *Ampère* arbeitete). Angewendet wurden sie als Demonstrationsobjekte für das neue Gesetz, als Elektrisiermaschinen für physiotherapeutische Heilbehandlung, zur Stromerzeugung für elektrische Telegrafen — alles mit Handantrieb. *Woolrich* betrieb höchstwahrscheinlich als erster seine für industrielle Anwendungen konstruierten magnet-elektrischen Maschinen mit Dampfmaschinen. Eine besondere Bedeutung für die Entwicklung leistungsstärkerer und vor allem zuverlässiger Stromgeneratoren hatte das Leuchtturmwesen in Frankreich und England [2] und [7]. Eine Steigerung der Leuchtdichte der Lichtquellen war mit den üblichen Ölfeuern nicht zu erreichen, mit dem seit 1810 (*Davy*) bekannten Kohlelichtbogen jedoch möglich. Bogenlampen für Leuchttürme erforderten aber eine konstante, zuverlässige und vor allem langzeitstabile Stromversorgung mit Maschinen, die diese Leistungen im Dauerbetrieb erbringen konnten. Unterstützt durch *Faradays* Wirken für das Trinity House, eine Brüderschaft, die in England die Lotsenlizenz vergibt sowie die Aufsicht über Leuchtfeuer, Seezeichen usw. ausübt, wurde die erste elektrische Leuchtturmbefeuerung mit einer magnetelektrischen Maschine von *Holmes* auf dem Leuchtturm von South Foreland am 8. Dezember 1858 für 6 Monate in Betrieb genommen. *Faraday* bescheinigt diesem Versuch gute Ergebnisse ohne technische Ausfälle, jedoch erwies sich der Betrieb doch noch als zu teuer gegenüber dem Ölfeuer [8]. Im Februar 1862 wurde auf Dungeness der ständige Betrieb einer elektrischen Leuchtturmbefeuerung aufgenommen, bis 1879 gab es in England 5 mit Holmes-Maschinen ausgerüstete Leuchttürme. In Frankreich brannte im Dezember 1863 auf dem Leuchtturm Cap la Hève das erste elektrische Kohlebogenlicht, mit Maschinen der Compagnie L'Alliance erzeugt (Bild2). Bis 1869 folgten zwei weitere elektrisch betriebene Leuchtturmfeuer auf französischem Boden sowie je eines in Odessa und Port Said, alle mit L'Alliance-Maschinen. Die Antriebsleistungen der Dampfmaschinen lag zwischen 2 und 8 PS. Das erstmals auftretende Synchronisationsproblem beim Zusammenschalten zweier Generatoren (notwendig bei schlechtsichtigem Wetter) wurde durch starre mechanische Kupplung gelöst. Hervorzuheben ist, daß sich gerade mit diesen technischen Anwendungen für die Leuchtfeuer (zu denen im weiteren elektrische Beleuchtungsanlagen in Bergwerken, auf Bahnhöfen und anderen industrellen Einrichtungen kamen) die Leistiungsfähigkeit des magneto-elektrisch erzeugten Stromes gegen ökonomische, bürokratische und konservative Vorbehalte beweisen mußte und konnte-

denn in einem rein haushaltswirtschaftlichem Betrieb wie dem Leuchtturmwesen stehen und standen ökonomische Fragen bei der Einführung neuer Technologien stärker im Vordergrund als in Industriebetrieben, wo der Gewinn höherer Arbeitsproduktivität die Unkosten neuer Technologien decken kann.
Beschließen wir unsere Revue mit den aus dem vorstehenden wohl ableitbaren Feststellungen, daß unsere Fachkollegen damals soviel Mühen hatten wie wir heute, daß die Begleitumstände ihrer Arbeit unseren heutigen durchaus nicht unähnlich sind, daß wir keine Veranlassung haben, aufgrund des heute zweifellos vielfältigeren Wissens überheblich zu sein, und daß wir zu Erfolgen unserer Arbeit für uns selbst und für die Gesellschaft nur durch den gleichen Eifer wie unsere Kollegen vor 150 Jahren gelangen werden.

Literatur

[1] *Tricker, R. A. R.:* Frühe Elektrodynamik. Berlin: Akademie-Verlag 1974 (WTB Band 96).
[2] *Mahr, O.:* Die Entstehung der Dynamomaschine. Berlin: Springer-Verlag 1941.
[3] *Faraday, M.:* Experimental Researches in Electricity. First Series; Second Series. Phil. Trans. 1832, part I, pp. 125–194.
[4] *Faraday, M.:* Experimental-Untersuchungen über Elektrizität. I. und II. Reihe, Magnetoelektrische Induktion (1832). Leipzig: Akademische Verlagsgesellschaft 1920, Reihe Ostwald's Klassiker, Bd. 81 (Übersetzung von [3] nach *Poggendorff*).
[5] *Faraday's* Diary, vol. I, London: 1932
[6] *Faraday, M.:* Elektromagnetic Current (under the Influence of a Magnet). Quart. J. of Science **XIX** (1825) S. 338.
[7] *Stevenson:* Die Illumination der Leuchttürme (deutsch von *Chr. Nehls*). Hannover: 1877.
[8] *Faraday, M.:* On Lighthouse-Illumination – the Electric Ligth. Phil. Mag. Vol. **XIX**, 4. Ser. (1860).
[9] Meyers Großes Konversationslexikon. Band 5 6. Aufl., Leipzig/Wien: Bibliographisches Institut 1903.

msr 7592 Prof. Dr. sc. techn. *G. Schommartz*, Wilhelm-Pieck-Universität Rostock, Sektion Technische Elektronik

Literatur (Fortsetzung von Seite 278)

[1] *Hofmann, D.:* Neue Entwicklungstendenzen der Sensortechnik. msr **24** (1981) H. 12, S. 662–667.
[2] *Schoppnies, E.:* Sensoren für die Mikroelektronik. rfe **29** (1980) H. 6, S. 363 bis 365.
[3] *Röhl, D.:* Sensoren, Aktoren – Periphere Komponenten der Mikrocomputer. Elektronik-Applikation **13** (1981) H. 2, S. 23–27.
[4] *Reichl, H.; Obermeier, E.:* Halbleitersensoren. Interkama-Kongress-Bericht 1980, S. 42–60.
[5] *Bethe, K.; Meyer-Ebrecht, D.:* Sensoren für die Konsumelektronik. Elektronik **29** (1980) H. 10, S. 41–46.
[6] *Wild, H.:* Drucksensoren der neuesten Generation. Elektroniker **20** (1981) H. 4, S. El 18 – El 20.
[7] *Allen, R.:* New applications open up for siliconsensors. A special report. Electronics **53** (1980) H. 24, S. 113–122.
[8] *Boll, R.; Berek, L.:* Magnetic Sensors of New Materials. Siemens Forschungs- und Entwicklungsberichte **10** (1981) H. 2, S. 83–90.

Kontinuierliche Steuerungen — Arbeitsbuch: Aufgaben und Anwendungen. Von *J. Sponer*. Berlin: VEB Verlag Technik 1981. 222 Seiten, 155 Bilder, 19 Tafeln, 16,— Mark.
Bestell-Nr. 552966 1

Mit dem Arbeitsbuch wird die Reihe „Theoretische Grundlagen der automatischen Steuerung" aus dem VEB Verlag Technik fortgesetzt. Das Arbeitsbuch ist in Inhalt und Gliederung abgestimmt mit dem Lehrbuch von *K. Reinisch* „Analyse und Synthese kontinuierlicher Steuerungssysteme". Es ist jedoch in seinem methodischen Aufbau so angelegt, daß es auch relativ selbständig als Übungsbuch genutzt werden kann. Jede Aufgabe gliedert sich in Aufgabenstellung, Lösungshinweis, Ergebnis und ausführliche Darlegungen zum Lösungsweg. Damit wendet sich das Buch an einen breiten Leserkreis. Durch die ausführlichen Betrachtungen und Erklärungen zum Lösungsweg wird es für alle Studierenden der Fachrichtung Technische Kybernetik und Automatisierungstechnik zu einem sehr effektiven Studienmaterial (besonders geeignet für das Selbststudium). Für alle die Leser, die an der Anwendung der Methoden der „kontinuierlichen" Regelungstechnik interessiert sind, macht es der konkrete Aufgabenbezug des Buches leicht, sich die wesentlichen Fähigkeiten und Fertigkeiten zum Nutzen für die eigene Problembearbeitung anzueignen oder diese ggf. wieder aufzufrischen. Das Buch übt nicht die Findung der jeweiligen Aufgabenstellung in quantifizierter Form aus größeren regelungstechnischen Problemstellungen heraus, sondern gibt diese bereits mit ganz konkreten Zahlenwerten usw. an, so daß die geforderte Analyse- bzw. Synthesemethode eine vollkommen gegebene Aufgabenstellung vorfindet.
Die ersten 50 Seiten sind dem Schwerpunkt Analyse kontinuierlicher Systeme gewidmet. Einige Aufgaben befassen sich mit der Steuer- und Beobachtbarkeit sowie der Stabilität. Ausführlich wird mit 10 Aufgaben die Stabilitätsanalyse linearisierter Systeme durch Anwendung der klassischen Stabilitätskriterien (Hurwitz, Ortskurvenkriterien, D-Zerlegung, Wurzelort, Nyquist) behandelt.
Zwei Aufgaben zeigen die Anwendung des Popow-Kriteriums zur Stabilitätsanalyse nichtlinearer Systeme.
Im II. Teil des Buches wird zunächst mit 10 Aufgaben zu exemplarisch gut ausgewählten Identifikationsmethoden die Gewinnung von Kennwerten bzw. parametrischen Streckenmodellen aus gemessenen (ungestört angenommenen) Sprung- und Impulsantworten bzw. Frequenzgangortskurven behandelt. Es schließen sich Aufgaben zur Vereinfachung von Signalflußgraphen und Blockdiagrammen an.
Den größten Umfang nimmt der Teil III zu den bewährten Methoden für die Synthese linearer Regelkreise ein. Der eigentliche Regelkreisentwurf wird durch zahlreiche Aufgaben zum statischen und dynamischen Verhalten des Regelkreises vorbereitet. Bei der Erklärung des Lösungsweges hat der Autor viel Mühe darauf verwendet, das Wesen der Regelung und die Eigenschaften des geschlossenen Wirkungskreises begreiflich zu machen. Durch konkrete Angabe der tatsächlichen Signalverläufe an den verschiedenen Stellen im Regelkreis und zahlreiche Diagramme wird der Leser zum Durchdenken und Interpretieren von Zwischen- und Endergebnis aufgefordert. Die Methoden der Bemessung von einschleifigen Regelkreisen im Bode-Diagramm und anhand der PN-Verteilung werden durch viele Aufgaben gut demonstriert. Sie erfordern vom Leser die aktive Auseinandersetzung mit dem jeweiligen Lösungsweg.
Alle Leser, die dazu bereit sind, werden in dem Arbeitsbuch eine gute Hilfe finden, bewährte Methoden der Regelungstechnik zu verstehen und aktiv anwenden zu lernen. B 1548 *U. Korn*

Rechnernetzwerke. Von *H. Löffler*. Band 199 der REIHE AUTOMATISIERUNGSTECHNIK. Berlin: VEB Verlag Technik 1982. 72 Seiten, 44 Bilder, 4 Tafeln, 4,80 Mark.
Bestell-Nr. 553099 6

Der Band reiht sich ein in die Bemühungen des VEB Verlag Technik, mit der REIHE AUTOMATISIERUNGSTECHNIK neue, entstehende Entwicklungstendenzen der Automatisierungstechnik und Informationsverarbeitung einem breiten Leserkreis in einer Einführung zugänglich zu machen.
H. Löffler greift mit der Thematik der Rechnernetze ein Gebiet auf, über das es international bereits eine umfangreiche Literatur gibt. Es war also an der Zeit, daß auch in der DDR — über Vorträge auf Fachtagungen und spezielle Arbeiten hinaus — in einer Einführung dazu Stellung genommen wird. Durch die Inbetriebnahme des ersten Rechnernetzes der DDR, des Rechnernetzes DELTA, das der Autor durch die unmittelbare Zusammenarbeit auf dem Gebiet der Rechnernetzwerke kennt, wird das Bedürfnis noch unterstrichen. Von der inhaltlichen Aufgabenstellung her ist der Band 199 mit den beiden Büchern *Cypser, R. J.*: Communication Architecture for Distributed System (1978) und *Jakubaitis, E. A.*: Architektura vyčislitelnych setej (1980) vergleichbar, wenngleich diese mehr ins Detail gehen. Nach einer Klassifikation von Rechnersystemen behandelt *Löffler* im zweiten Kapitel die Architektur und die logischen Komponenten von Rechnernetzwerken. Eine besondere Bedeutung wird im vierten Kapitel auf die

netzinterne Kommunikation gelegt, und im sechsten Kapitel wird ein Überblick über arbeitende Rechnernetze gegeben, während der Standpunkt des Nutzers im fünften Kapitel etwas zu kurz kommt.

Der Band ist hervorragend geeignet, Interessierte in die Gedanken und Begriffswelt der Rechnernetzwerke einzuführen, wobei die angegebene Literatur und die laufend hinzukommende notwendig sind, um selbst am Entwurf bzw. an der Nutzung von Rechnernetzen teilzuhaben. Wünschenswert wären einige Ausführungen zu speziellen Rechnernetzen gewesen, wie diese sich auf der Grundlage vorliegender Standards und verfügbarer Gerätetechnik aufbauen lassen.

Mit dem Band werden Studenten der Informationsverarbeitung und Automatisierungstechnik sowie Rechentechniker angesprochen, die sich Rechnernetzwerken entweder als Nutzer oder als Entwerfer zuwenden wollen. B 1584 *W. Kalfa*

Probleme der theoretischen und angewandten Kybernetik. Von A. A. Ljapunow (in Russ.). Moskau: Verlag Nauka 1980. 333 Seiten.

Entsprechend einer Empfehlung der Kommission zum Studium des wissenschaftlichen Erbes von *A. A. Ljapunow* hat das Präsidium der Sibirischen Abteilung der Akademie der Wissenschaften der UdSSR den Beschluß gefaßt, zur Ehrung des verdienstvollen Wirkens des korrespondierenden Mitglieds der AdW der UdSSR *Alexej Andrejewitsch Ljapunow* (1911—1973) unter Leitung des Akademiemitglieds *S. L. Sobolew* eine Monographie mit den bedeutendsten Arbeiten aus dem Gesamtschaffen *A. A. Ljapunows* zu editieren.

Es ist das Verdienst *A. A. Ljapunows*, eine exakte Bestimmung des wissenschaftlichen Gegenstands der Kybernetik vorgenommen und die Herausbildung und Entwicklung der Kybernetik in der Sowjetunion maßgeblich gefördert zu haben.

Im Verlaufe von fast 20 Jahren hat *A. A. Ljapunow* seine wissenschaftlichen Arbeiten den Fragen der theoretischen Kybernetik gewidmet und damit eine stürmische Entwicklung der Kybernetik in Verbindung mit einem kaum überschaubaren Spektrum von Forschungsrichtungen und Anwendungsfällen initiiert. Große Beachtung schenkte er dem nichtmathematischen Anwendungsbereich der Kybernetik, so der mathematischen Linguistik, der Sprachenübersetzung mit Hilfe von elektronischen Rechenanlagen, kybernetischen Fragen der Biologie.

1956 begründete *A. A. Ljapunow* die weltbekannte Publikationsreihe „Probleme der Kybernetik".

Unter seiner wissenschaftlichen Redaktion wurden 29 Sammelbände mit großer internationaler Anerkennung editiert. Bekannte Schüler *Ljapunows* führen heute die Herausgabe dieses Sammelbandes erfolgreich fort.

Mit der Monographie wird erstmals eine Gesamtdarstellung des Schaffens *A. A. Ljapunows* auf dem Gebiet der theoretischen und angewandten Kybernetik herausgegeben.

Ein Teil der in der Monographie enthaltenen Arbeiten wurde bisher nur in eng spezialisierten Publikationen bzw. als Preprints veröffentlicht und war ungeachtet seiner großen Bedeutung dem Leser im wesentlichen nicht zugänglich.

In einer Einführung wird eine beeindruckende Bilanz der wissenschaftlichen Universalität und Genialität *A. A. Ljapunows* anhand seiner vielfältigen Forschungsergebnisse mit weitreichendem Einfluß auf die Entwicklung ganzer Wissenschaftszweige gezogen. Kapitel 1 behandelt allgemeine Fragen der Kybernetik, wie das Wesen der Kybernetik, mathematische Probleme der Kybernetik, Systemanalyse, Aufbau und Evolution von Leitungssystemen in Verbindung mit der Klassifizierungstheorie.

Kapitel 2 beinhaltet die Programmierung und Algorithmentheorie. Hier werden unter anderem die Methodik der Programmierung, die Programmstruktur, die bekannte Operatorschreibweise sowie eine algebraische Darstellung der Programmierung erläutert. Im Kapitel 3 werden unter dem Thema maschinelle Übersetzung und mathematische Linguistik einige Grundprobleme und methodologische Fragen der Sprachenübersetzung sowie die Aufgaben der mathematischen Linguistik dargestellt.

Kapitel 4 behandelt kybernetische Fragen in der Biologie.

A. A. Ljapunow geht hierbei vom kybernetischen Verständnis physiologischer Prozesse aus und führt seine Untersuchungen bis zur logischen Analyse von Erbinformation.

Im abschließenden Kapitel 5 werden philosophische und methodologische Probleme der Wissenschaft untersucht.

Den Abschluß der Monographie bildet eine vollständige, jahrweise Zusammenstellung der Veröffentlichungen von *A. A. Ljapunow* von 1934 bis 1973. Zusammen mit den von seinen Schülern beendeten und 1974, 1975 sowie 1979 publizierten Arbeiten enthält die eindrucksvolle Gesamtübersicht 205 Titel von *A. A. Ljapunow*.

Es steht außer Zweifel, daß die Monographie für alle der Kybernetik aufgeschlossenen Wissenschaftler unterschiedlichster Disziplinen eine große Bereicherung und einen wertvollen wissenschaftlichen Fundus darstellt. B 1466 *G. Peißker*

Sammlung typischer Programme zur Modellierung. Von *A. G. Ivachnenko* u. a. (in Russ.). Kiew: Technika 1981. 184 Seiten, 10 Bilder, 9 Tafeln.

Für komplizierte Systeme bzw. Teilsysteme, über die nur geringe A-priori-Information vorliegt, hat sich in der letzten Zeit neben den deduktiven Prinzipien der Modellbildung (Theoretische Systemanalyse, axiomatisches Herangehen) eine induktive Herangehensweise an die Modellbildung bewährt, die weitgehend frei von der Intuition und Kreativität des Modellierers ermöglicht, ein Modell optimaler Kompliziertheit entsprechend der zu lösenden Aufgabe zu bestimmen. Realisiert wird das mit Hilfe der im Institut für Kybernetik der Ukrainischen Akademie der Wissenschaften entwickelten Algorithmen der Selbstorganisation mathematischer Modelle auf der EDV-Anlage. Sie erwiesen sich in ihrer praktischen Anwendung für vielfältige Aufgaben als nützlich. Das Buch stellt einen Sammelband wichtiger Algorithmen dar. Das erste Kapitel gibt eine kurze Einführung in die Selbstorganisation mathematischer Modelle auf der EDV-Anlage, wobei die Grundprinzipien der Selbstorganisation, grundlegende Algorithmen, ihre rechentechnische Realisierung, die geeignete Wahl der freien Parameter u. a. behandelt werden.

Die im Sammelband enthaltenen 16 Programme und 58 Unterprogramme unterteilen sich in:

- Programme zur langfristigen Vorhersage
- Programme zur strukturellen Identifikation algebraischer Modelle und von Differenzengleichungen
- Programme zur Modellierung von Feldern
- Programme zur optimalen Steuerung und zur Stabilitätsuntersuchung
- Programme zur Mustererkennung.

Zu jedem Programm werden die Aufgabenstellung, die Besonderheiten der Programme, der Programmaufbau sowie weitere Details, wie Programmiersprache (ALGOL, FORTRAN), Grenzen der Aufgaben, Modellierungsprinzipien, Selektionskriterien u. a., sowie zum besseren Verständnis illustrative Beispiele angegeben. Die für alle Programme interessanten Unterprogramme enthält ein Anhang. B 1540 *J.-A. Müller*

VEM-Handbuch Schutzmaßnahmen gegen zu hohe Berührungsspannung in Niederspannungsanlagen. 7., stark bearbeitete Auflage. Von *R. Müller*. Berlin: VEB Verlag Technik 1981. 387 Seiten, 294 Bilder, 32 Tafeln, 26,— Mark.
Bestell-Nr. 552936 2

Im Buch werden die wichtigsten Fragen auf dem Gebiet der Schutzmaßnahmen gegen zu hohe Berührungsspannung in Niederspannungsanlagen behandelt. Es ist ein Buch für den interessierten Elektrofachmann, der sich mit der Berührungsschutztechnik vertraut machen möchte oder bestrebt ist, seine Kenntnisse auf diesem wichtigen Gebiet weiter zu vertiefen. Das Buch dient dem Praktiker ebenso wie dem in der Projektierung, Konstruktion, Ausführung oder Lehre tätigen Ingenieur.

Der Betreiber elektrotechnischer Anlagen und der Kontrollingenieur findet wichtige Anregung für die dauernde Gewährleistung der Wirksamkeit von Schutzmaßnahmen.

Die 7. Auflage des VEM-Handbuches wird als stark bearbeitete Fassung vorgelegt. Neue Erkenntnisse und Weiterentwicklungen aus dem behandelten

Fachgebiet sind ebenso berücksichtigt wie die neuesten Bestimmungen der DDR-Standards und internationaler Empfehlungen.
Aktualisiert, in ihrer Aussage verbessert und zum Teil wesentlich erweitert wurden vor allem die Abschnitte Berührungsspannung, Netzsysteme, Schutzleiter, Nullung, Fehlerstrom-Schutzschaltung und Schutzmaßnahmen in Räumen der Tierhaltung. Inhaltlich völlig neu sind die Abschnitte Fundamenterder, Schutz gegen direktes Berühren, Potentialausgleich und Schutzmaßnahmen in medizinisch genutzten Räumen.
Der Abschnitt über Schutzmaßnahmen in industriellen Steueranlagen wurde gegenüber der 6. Auflage inhaltlich nicht geändert. Angesichts der verstärkten Anwendung der Mikroelektronik auf allen Gebieten der Elektrotechnik wäre eine ausführlichere Darstellung wünschenswert, wobei es hierbei nicht in erster Linie um den Schutz des Menschen, sondern vor allem um Verträglichkeitsprobleme geht.
Es wurden die neuesten Termini, Schaltzeichen, Leiter- und Systembezeichnungen entsprechend den internationalen Normen und den RGW-Abstimmungen berücksichtigt.
Ein umfangreiches Literaturverzeichnis, jeweils nach den Abschnitten geordnet, ermöglicht dem Leser Vertiefung der Kenntnisse, intensives Eindringen in Spezialfragen und historische Betrachtungen.
Mit dem Sachwörterverzeichnis, das die wichtigsten Schlagwörter des Berührungsschutzes enthält, wird die praktische Handlichkeit des Buches unterstrichen. B 1547 *W Trommer*

Strukturierte Programmierung. Von *O. Herrlich* und *U. Lindner*. Leipzig: BSB B. G. Teubner Verlagsgesellschaft 1981. 168 Seiten, 62 Bilder, 2 Tafeln. 11,— Mark.

Die Verfasser haben sich die Aufgabe gestellt, wesentliche international anerkannte und bewährte Methoden, die zu einer effektiveren Technologie der Programmherstellung führen, aufzubereiten und vorzustellen. Sie greifen damit eine aktuelle Problematik auf, die in Verbindung steht mit häufig zitierten und oft zu wenig berücksichtigten Feststellungen, daß die Entwicklungskosten für die Software die der Hardware für ein neues Rechnersystem mit steigender Tendenz weit übertreffen oder daß die Leistungsparameter der Gerätetechnik in den letzten Jahrzehnten um mehrere Größenordnungen gestiegen sind gegenüber der Effektivität der Programmherstellung, die im gleichen Zeitraum um noch nicht eine Größenordnung gesteigert werden konnte usw. Da die Struktur der Programme im Zusammenhang mit einer effektiveren Technologie der Programmherstellung große Bedeutung hat, wurden die verschiedenen Ansätze, Verfahren und Methoden oft unter dem Begriff „Strukturierte Programmierung" zusammengefaßt. Dieser Begriff wurde auch als Titel für das vorliegende Buch gewählt, obwohl die Autoren, wie im Vorwort zum Ausdruck kommt, den Begriff „Systematisches Programmieren" bevorzugen; wohl sicher, um mit der Strukturierung zusammenhängende Fragen auch nicht überzubewerten.
Das Buch gliedert sich in 5 Abschnitte: Im ersten Abschnitt „Bedeutung und Aufgaben der Technologie der Programmherstellung" werden mit der Formulierung der Zielstellung verschiedene Begriffe erläutert. Der zweite, mit „Strukturierte Programmierung" überschriebene Abschnitt bildet das Kernstück des Buches und behandelt die einzelnen Etappen der Programmherstellung, wobei das methodische Vorgehen im Vordergrund steht. Unter den Mitteln zur Entwurfsbeschreibung werden neben den Programmiersprachen, die Programmentwurfssprachen, der Pseudokode sowie verschiedene grafische Formen zum Entwurf und zur Dokumentation dargestellt. Besondere Beachtung finden die Fragen der Implementierung sowie Programmiersprachen als Implementierungsmittel. Im dritten Abschnitt wird die Telegrammverarbeitung als ein Beispiel für einen Programmentwurf ausführlich diskutiert. Im vierten Abschnitt „Programmverifikation" werden verschiedene Methoden zur Prüfung der Richtigkeit von Programmen dargestellt, und im fünften Abschnitt „Werkzeuge und Organisationsformen" werden Fragen, wie die Organisation in Programmentwicklungsgruppen, die Programmdokumentation sowie Systeme zur rechnergestützten Softwareerarbeitung behandelt.
Es ist ein besonderer Vorzug des Buches, daß die Autoren nicht schematisches Vorgehen zu vermitteln suchen, sondern dem Leser Denkanregungen geben über Wege und Methoden einer Technologie der Programmherstellung. Es ist daher sowohl als Lehrbuch den Studierenden wie allen in die Praxis auf dem Gebiet der Rechen- und Automatisierungstechnik tätigen Fachkräften wärmstens zu empfehlen. B 1538 *H. Adler*

Was ist ein OGAS? Von *V. M. Gluškov* und *V. Ja. Valach* (in Russ.). Moskau: Nauka 1981. 160 Seiten.

Unter der Bezeichnung OGAS verbirgt sich die Abkürzung von „Allgemeinstaatliches automatisiertes System der Sammlung und Verarbeitung von Informationen zur Abrechnung, Planung und Leitung der Volkswirtschaft". Mit dieser Konzeption sind eine Vielzahl äußerst komplizierter Probleme und Aufgaben für Wissenschaft und Technik in einem bislang nicht gekannten Maßstab verbunden.
Anliegen dieses Buches soll es sein, diese Probleme aufzuzeigen und beim Leser Vorstellungen über ihre mögliche Lösung zu entwickeln. Dabei ist es offensichtlich, daß Fortschritte in dieser Richtung von der weiteren Vervollkommnung der ökonomischen Mechanismen der Leitung und Planung, der Weiterentwicklung der Wirtschaftswissenschaften abhängen, jedoch insbesondere eng verknüpft sind mit der weiteren Entwicklung der technischen Basis, d. h. der Rechentechnik. Zur Realisierung dieses OGAS werden Tausende von Rechenzentren, automatisierten Systemen der Steuerung der Produktion (ASUTP) und automatisierten Systemen der Leitung von Industriezweigen (OASU) zu einem einheitlichen System zusammenzuschließen sein. Mögliche Effekte eines derartig kolossalen Systems sind: hohe zeitliche Synchronisation der Produktion in allen Produktionseinheiten, Reduzierung des materiellen Aufwands (Ressourcen, Anlagen) sowie der erforderlichen Lagerkapazitäten, flexiblere Planung, die besser den Möglichkeiten und vorhandenen Ressourcen entspricht.
Die Autoren legen in einer leicht verständlichen Form erforderliche Grundkenntnisse (Rechentechnik, Informationstheorie, Projektierung von ASU u. a.) dar und zeigen Entwicklungstendenzen auf. B 1541 *J. Peters*

High-Frequency Application of Semiconductor Devices. Von *F. Kovács*. Budapest: Akadémiai Kiadó 1981. 391 Seiten, 403 Bilder.

In ihrer stürmischen Entwicklung sind Halbleiterbauelemente in alle technischen Bereiche, in denen aktive Elemente eine Rolle spielen, eingedrungen. In kurzer Folge werden neue Wirkungsprinzipien und Bauelemente gefunden, die in der Schaltungstechnik neue Lösungen möglich machen. Das betrifft auch die Hochfrequenztechnik in starkem Maße. Der Verfasser setzt sich deshalb zum Ziel, mit diesem Buch für Elektro-Ingenieure eine dem aktuellen Stand entsprechende und vom Niveau geeignet gehaltene Darstellung zu geben. Beachtet man, daß in der Schaltungstechnik lineare als auch nichtlineare Operationen notwendig sind, so wird der Gesamtumfang des Anliegens, das der Verfasser in einem Band behandelt, deutlich. Er erreicht das durch den Mut zur Lücke und Konzentration auf wichtige Zusammenhänge des Fachgebietes.
Behandelt werden in den Kapiteln 1 bis 3 Hochfrequenzanwendungen und -eigenschaften von Halbleiterdioden und -transistoren bis zu linearen integrierten Schaltungen. Es folgt die Charakterisierung von Festkörperbausteinen durch Vierpolparameter. Danach werden in den Kapiteln 5 bis 13 Breitbandverstärkerschaltungen behandelt. Es sind charakteristische Funktionen, der Frequenzgang von Ein- und Mehrstufenbreitbandverstärkern, kompensierte Breitbandverstärker, Breitbandverstärker mit Gegenkopplung. Anwendungen integrierter Breitbandverstärker und leitungsgekoppelte Breitbandverstärker dargestellt. Die Behandlung abgestimmter Verstärker schließt sich an. Das betrifft Entwurfsprinzipien sowie Fragen der Stabilität und Neutralisation, Einzelkreis-

verstärker, Zweikreisverstärker und die Verwendung integrierter Schaltkreise. Im Kapitel 18 werden Mikrowellenverstärker erfaßt. Die Kapitel 19 und 20 beziehen sich auf A-, B-, AB- und C-Hochfrequenzleistungsverstärker in Theorie, Entwurfsprinzipien und praktischem Entwurf. Vorrangig nichtlinearen Problemen sind die folgenden Kapitel 21 (Hochfrequenzkonverter), 22 (Frequenzvervielfacher) und 23 (Hochfrequenzoszillatoren) gewidmet. Das Kapitel 24 zu Problemen des Hochfrequenzrauschens von Festkörperbausteinen schließt das Buch ab. B 1533 *E. Trzeba*

Stochastic Differential Systems. Filtering and Control. Proceedings of the IFIP-WG 7/1 Working Conference Vilnius, Lithuania, USSR, Aug. 28 — Sept. 2, 1978. Editors: *B. Grigelionis*. Westberlin/Heidelberg/New York: Springer-Verlag 1980. 363 Seiten.

Die Konferenz wurde vom Institut für Mathematik und Kybernetik der Litauischen Akademie der Wissenschaften und vom Steklov-Institut für Mathematik der AdW der UdSSR durchgeführt. Die 103 Teilnehmer der Tagung kamen aus der UdSSR (83), DDR (3), USA (3), Japan (2), Ungarische VR (2), VR Bulgarien (1), Frankreich (1), BRD (1), Indien (1), SR Rumänien (1) und Großbritannien (1).
In 10 Sektionen wurden insgesamt 21 einstündige und 24 halbstündige Vorträge gehalten, von denen 35 im vorliegenden Tagungsband veröffentlicht sind.

Inhaltlich ging es um mathematische Probleme stochastischer Itô-Differentialgleichungen und deren Anwendung zur Steuerung und Filterung stochastischer Differentialsysteme. Ihrem Charakter nach handelte es sich um eine Mathematiker-Tagung, die international führende Spezialisten der modernen Theorie zufälliger Prozesse zusammenführte. Zu den Vortragenden gehörten *K. Itô* (Japan), *B. Grigelionis*, *R. Z. Hasminskij*, *I. A. Ibragimov*, *V. A. Lebedev*, *A. N. Žirjaev*, *A. M. Jaglom* (UdSSR), *A. V. Balakrishnan* (USA) u. a. Alle Beiträge stellen neue mathematische Forschungsergebnisse dar und sind in der abstrakten Sprache der modernen Mathematik formuliert. B 1513 *K. Reinschke*

An Introduction to Bayesian Inference in Econometrics. Von *A. Zellner* (in Russ.). Moskau: Statistika 1980. 438 Seiten, 22 Tafeln, 31 Bilder.

In der mathematischen Statistik existiert neben der klassischen auch die Bayessche Herangehensweise. Die klassischen Methoden finden bei der Ermittlung effektiver Schätzungen und der Untersuchung asymptotischer Eigenschaften z. B. im Rahmen ökonometrischer Untersuchungen Anwendung. Für kleine Stichproben verliert jedoch die Anwendung der asymptotischen Verfahren ihre Begründung. Das Buch soll begründen, daß die Bayessche Herangehensweise neue Möglichkeiten bei der Lösung komplizierter Aufgaben insbesondere bei kleinen Stichproben und fehlerbehafteten Parametern bietet. Sie ermöglicht die Berücksichtigung der A-priori-Information und die Neuberechnung der Modellparameter bei eintreffender neuer Information. Bezahlt werden diese Vorzüge durch erhöhten rechentechnischen Aufwand und durch strengere Voraussetzungen.
Nach einer grundlegenden Einführung in den wissenschaftlichen Erkenntnisprozeß und in Besonderheiten der wirtschaftswissenschaftlichen Erkenntnis werden die Prinzipien der Bayesschen Analyse anhand konkreter Beispiele dargelegt. Danach behandelt der Autor das einfache lineare Regressionsmodell für normalverteilte unabhängige Störungen. Im Zusammenhang mit speziellen Problemen der Regressionsanalyse wird aufgezeigt, wie einige Voraussetzungen abgeschwächt werden können. Nach der Untersuchung der Parameterfehler behandeln die Autoren die Schätzung nichtlinearer Modelle sowie von Zeitreihenmodellen und multiplen Regressionsmodellen. Alle diese Kapitel haben einen stark auf die Verfahren orientierten Charakter, d. h. die im zweiten Kapitel entwickelten Prinzipien finden ihre Anwendung für in der Ökonometrie weit verbreitete Modellansätze. Abschließend enthält das Buch ein Kapitel zum Vergleich und Überprüfen von Hypothesen und Modellen sowie Hinweise für die weitere theoretische Forschungsarbeit und Applikation insbesondere auf dem Gebiet der Steuerung. B 1542 *J.-A. Müller*

Rechnerarchitektur. Von *W. K. Giloi*. Westberlin/Heidelberg/New York: Springer-Verlag 1981. 380 Seiten, 133 Bilder.

In dieser Monographie hat mit *Wolfgang K. Giloi* ein international bekannter Fachmann seine Ansichten über Rechnerarchitekturen niedergelegt. Er versuchte dabei, die verschiedenen modernen Bestrebungen auf diesem Gebiet zu systematisieren und einzuschätzen, wobei auch die eigenen Arbeiten einen gebührenden Platz erhielten. Ausgangspunkt der Betrachtungen ist der von Neumannsche Rechenautomat. Es werden die Strukturen von Einprozessorsystemen behandelt und Möglichkeiten untersucht, die Leistungsfähigkeit durch Parallelität zu erhöhen. Danach wendet sich der Autor neuen Architekturprinzipien zu und bespricht sie teils allgemein, teils anhand von konkreten Beispielen. So werden nacheinander neue Rechnerstrukturen mit von Neumannschem Operationsprinzip (HOLLAND-Maschine, ILLIAC IV, CDC 6600), feldverarbeitungsorientierte Rechnerarchitekturen (STAR 1000, CYBER 200, CRAY-1, Eigenentwicklung STARLET), Rechner mit Datentypen-Architekturen (P-Maschine, Eigenentwicklung APL-Maschine) und direkt ausführende Spracharchitekturen (SYMBOL-Maschine, Burroughs B 6700) sowie experimentelle Datenfluß-Multiprozessorarchitekturen (LAU-System) behandelt. Abschließend geht der Autor auf das Gebiet der Allzweck-Multiprozessorarchitekturen ein, das durch den zunehmenden Einsatz von Mikroprozessoren von allgemeinem und steigendem Interesse ist, und untersucht unter anderem verteilte Polyprozessor-Systeme. Auf diese Weise wird ein guter Überblick über das Gebiet der Rechnerarchitekturen vermittelt. Für ungünstig wird jedoch der Entschluß des Autors erachtet, eine ungewöhnlich große Anzahl nicht übersetzter, anglo-amerikanischer Termini im Text direkt zu verwenden, denn die Monographie hätte die Möglichkeit zur Einführung einer deutsch-sprachigen Terminologie geboten. Trotzdem erscheint das Buch zur Einführung in das Fachgebiet geeignet, aber auch der Spezialist wird es wegen des wertenden Charakters der Ausführungen mit Interesse lesen.

B 1509 *D. Werner*

Aktive Mikrowellendioden. Von *W. Harth* und *M. Classen*. Westberlin/Heidelberg/New York: Springer-Verlag 1981. 190 Seiten.

Im 9. Band der Reihe Halbleiter-Elektronik werden Mikrowellendioden auf Halbleiterbasis behandelt. Die Behandlung konzentriert sich auf aktive Halbleitermikrowellendioden für den Frequenzbereich oberhalb 1 GHz.
Unter den zahlreichen bekannten Prinzipien haben sich die Lawinenlaufzeitdioden, die Barittdioden, die Gunnelelemente und Tunneldioden technisch durchgesetzt. Diese Bauelemente werden heute insbesondere in mobilen Mikrowellengeräten und -systemen eingesetzt.
Bei den Lawinenlaufzeitdioden erfolgt zunächst eine gründliche Darstellung des innerelektronischen Wirkungsmechanismus (Lawinenprozeß, Driftprozeß). Daraus abgeleitet folgen die Klemmeneigenschaften (Impedanz). Schließlich werden die spezifischen Eigenschaften praktischer Diodenkonstruktionen — besonders der pn-Dioden und der Dioden mit Doppeldriftregion — dargestellt.
Auf die Verfeinerung der klassischen Funktionsmodelle und Sonderbetriebsmoden (TRAPATT) wird ebenfalls kurz eingegangen.
Die Kenntnisse, die in dem sehr umfangreichen Abschnitt über Lawinenlaufzeitdioden vermittelt werden, können z. T. auch für die anschließende Beschreibung der Wirkungsweise, Herstellungsverfahren und Anwendungen der Barittdioden genutzt werden.
Einen großen Raum nehmen die Gunnelelemente ein. Nach einer Darstellung der relevanten physikalischen Grundlagen

(Heißelelektroneneffekte) erfolgt die Behandlung der beiden grundsätzlichen Oszillationsmechanismen, der Domänendynamik und des LSA-Modus. Neben den Herstellungsverfahren erfolgt auch eine Darstellung der Anwendungen in der Analogtechnik (Oszillatoren) und der Digitaltechnik (Logikgatter).
Den Abschluß bildet eine kurze Abhandlung über die Wirkungsweise, elektrische Eigenschaften, Herstellungsverfahren und Anwendungen von Tunneldioden.
Die Darstellung des Stoffes erfolgt sehr übersichtlich und didaktisch gut geordnet. Auch praktische Gesichtspunkte (Bauformen und Herstellung, Anwendung) kommen nicht zu kurz.

B 1484 *A. Möschwitzer*

Prozeßrechentechnik. Aufbau und Programmierung von Prozeßrechnern / Grundlagen und Verfahren ihrer Anwendung. Von A. Schöne. München/Wien: Carl Hanser Verlag 1981. 714 Seiten, 230 Bilder, 36 Tafeln.

Die Prozeßrechentechnik ist ein neues und vielseitiges Fachgebiet der Ingenieurwissenschaften. Besondere Probleme, Fragestellungen und Lösungsansätze ergeben sich durch die Verbindung der elektronischen Datenverarbeitung mit den Aufgaben und Zielen der Automatisierung technischer Prozeßabläufe. Die neueren Entwicklungen der Mikroelektronik verbreitern die Einsatzmöglichkeiten von Prozeßrechnern und lösen gleichzeitig den scharfen Gegensatz zur konventionellen Automatisierungstechnik. Eine neue Auflage wird sicher die Verbindungen zur Mikroelektronik noch weiter und ausführlicher herausstellen.
Das Buch behandelt alle Gebiete, die für den Entwurf, die Planung, die Auswahl und Spezifikation, die Programmierung und den Einsatz von Prozeßrechensystemen wichtig sind. Bekannte und weniger bekannte, erprobte und weniger erprobte Methoden werden aus der Sicht der Anwendungsmöglichkeiten dargestellt. Der gerätetechnische Aufbau (Einprozessor- und Mehrprozessor- bzw. Mehrrechnersysteme, prozeßperiphere Einrichtungen, Betriebssicherheit und Zuverlässigkeit), Programmierung und Programmorganisation (Echtzeit-Datenverarbeitung, höhere Programmiersprachen, Betriebssysteme, Programmsysteme für Rechenverbund), Meßwerterfassung und Meßwertverarbeitung, digitale Regelungen (Regelalgorithmen, Mehrgrößenregelungen, Prozeßsicherung bei Ausfällen), digitale Steuerungen (Ablaufsteuerungen, CNC-, DNC-Steuerungen), statische und dynamische Prozeßoptimierung (Optimierung durch Suchverfahren, Optimierung mit vollständigen und adaptiven Prozeßmodellen, dynamische Optimierung nach *Pontrjagin*, Gradientenverfahren) sowie Prozeßerkennung und Ermittlung von Prozeßmodellen (mathematische und experimentelle Analysemethoden) werden eingehend vom Standpunkt der Planung als auch in funktioneller Gliederung behandelt.
Nützliche quantitative Daten und in Formeln ausdrückbare empirische Zusammenhänge werden wiedergegeben und in zahlreichen Tafeln übersichtlich zusammengestellt. Das Buch enthält eine Fülle von Sachinformationen und orientiert in etwa 800 Literaturhinweisen auf weitergehende Arbeiten.
Das Buch eignet sich als Arbeitsbuch und Nachschlagewerk für den Systementwickler und Anwender. Es zeigt Wege zu praktischen Systemlösungen und ermöglicht auch dem nichtspezialisierten Ingenieur und Naturwissenschaftler, sich in der Problematik der Prozeßrechentechnik einzuarbeiten.
Mit diesem Handbuch liegt wohl die zur Zeit ausführlichste Gesamtdarstellung dieses Themenkreises vor.

B 1534 *W. Fritzsch*

PTB-Prüfregeln. Band 15: Flüssigkeitsmanometer. Bearbeitet von *J. Gieleßen, J. Jäger* und *G. Schoppa*. Braunschweig/Westberlin: Physikalisch-Technische Bundesanstalt 1980. 57 Seiten, zahlr. Bilder und Tafeln.

Die PTB-Prüfregeln geben sehr ausführliche und gut verständliche Hinweise für die Prüfung von Meßmitteln und beschreiben die dafür benötigten Prüfmittel und Normale. Sie sind nicht nur für eich- und beglaubigungsfähige Meßgeräte gedacht, sondern auch für andere Meßgeräte, die im Bereich der PTB geprüft werden. Aber auch die Prüfstellen der Industrie und von wissenschaftlichen Einrichtungen verfahren bei der Prüfung ihrer Meßmittel nach diesen Prüfregeln.
Der Band 15 beschäftigt sich mit der Prüfung von Flüssigkeitsmanometern. Er enthält ausführliche Berechnungen für alle Formen von Gefäßmanometern und geht dann im einzelnen auf die Prüfung von U-Rohr-Manometern, Gefäßmanometern, Schwimmermanometern, Flüssigkeits-Mikromanometern und Tauchglocken-Manometern ein. Bei U-Rohr- und Gefäßmanometern werden verschiedene Sperrflüssigkeiten und einzelne Meßprobleme (Absolutdruck-, Überdruck- und Differenzdruckmessung) unterschieden. Für jedes Manometer werden die benötigten Formeln und Hinweise für die Durchführung der Prüfung gegeben. Die Handhabung der Prüfregeln wird zusätzlich anhand einer Reihe von Beispielen verdeutlicht. Alle Berechnungen sind für SI-Einheiten zugeschnitten, wobei sich mit den angegebenen Einheiten der Druck jeweils in Pascal ergibt. während in den Beispielen und Tabellen sowie bei der Angabe von Druckbereichen fast ausschließlich das bar (oder mbar) benutzt wird, was inkonsequent ist und den in der DDR geltenden Richtlinien nicht entspricht. Ein kurzer Anhang über Definitionen und Einheiten ergänzt dieses Bändchen. Durch die Beschreibung des Prüfvorgangs und die Hinweise darauf, was bei den einzelnen Gerätetypen zu beachten ist, wird es nicht nur für die *Prüfung* von Manometern interessant, sondern auch diejenigen, die Manometer anwenden und sich dabei über ihre Genauigkeit Rechenschaft geben wollen, finden nützliche Anregungen.

B 1514 *H. Hart*

Taschenrechner + Mikrocomputer Jahrbuch 1981. Anwendungsbereiche, Produktübersichten, Programmierung, Entwicklungstendenzen. Herausgegeben von *H. Schumny*. Braunschweig/Wiesbaden: Friedr. Vieweg & Sohn 1980. 300 Seiten, 139 Bilder, 36 Tafeln, 59 Programme und Adressen.

Das Taschenrechner + Mikrocomputer Jahrbuch erschien 1979 zum ersten Mal und soll nun in jährlicher Folge von Dr.-Ing. *Schumny* herausgegeben werden. Sein großer Erfolg liegt in der neuen und bisher einmaligen Konzeption begründet. Das Buch enthält in umfangreichen, typographisch sehr gut gestalteten Tabellen die jährliche Bestandsaufnahme der Taschen- und Tischrechner, programmierbaren Taschen- und Tischrechner, Mikroprozessoren und Mikrocomputer bis zum Preise von 10.000 US Dollar. Anschriften von Herstellern, Lieferanten, Clubs und Lehrinstituten in der Bundesrepublik Deutschland erleichtern den Zugriff für die Adressaten. Weiterhin werden in über 250 Quellenangaben Taschenrechner- und Mikrorechnerprogramme in Fachzeitschriften und Büchern der BRD nachgewiesen sowie 20 ausgetestete Programme einschließlich Programmlisting für Taschenrechner HP, TI und Casio sowie Mikrorechner angegeben.
Stand und Entwicklungstendenzen der Technik werden aufgezeigt, aktuelle Anwendungsschwerpunkte herausgestellt.
Das Jahrbuch ist von 40 Autoren geschrieben worden, die vom Schüler über den Studenten, Lehrer bis hin zum international anerkannten Spezialisten reichen. Entsprechend breit ist der Kreis, an den sich das Jahrbuch wendet. Es läßt sich leicht lesen, weil die Konzeption ein herangereiftes Bedürfnis befriedigt, weil es gut geschrieben ist, weil es eine Fülle praktischer Erfahrungen wiedergibt, weil es vom Verlag ausgezeichnet ausgestattet wurde und weil die Fachbegriffe im Text, durch Rahmen vom Text abgesetzt, ausführlich erläutert werden.
Das Taschenrechner + Mikrocomputer Jahrbuch ist gleichermaßen Anfängern und Fachleuten zu empfehlen.

B 1546 *D. Hofmann*

13. Herbstkurse „Technische Kybernetik"

Die 13. Herbstkurse Technische Kybernetik, die von der Technischen Universität Dresden in Zusammenarbeit mit der Kooperationsgemeinschaft „Technische Kybernetik" veranstaltet werden, finden vom 29. November bis 3. Dezember 1982 in Dresden statt.
Es sind vier Sektionen zu je 8 Doppelstunden mit den Themen

- Analyse und Entwurf von Mehrgrößenregelungen mit Methoden im Frequenzbereich
  (Dr. *Wilfert*, ZKI der AdW, Dresden)
- Optimale Steuerung dynamischer Prozesse — funktionsanalytische Methoden
  (Prof. *Burmeister*, TU Dresden)
- Automatisierungstechnische Fragen der Robotertechnik
  (Prof. *Schwarz*, IH Mittweida)
- Automatisierungsanlagen mit Mikrorechnern
  (Prof. *Neumann*, TH Magdeburg)

vorgesehen.
Anforderungen des vollständigen Programms mit Anmeldeformular sind an die TU Dresden, Sektion Informationstechnik, WB Regelungstechnik und Prozeßsteuerung, 8027 Dresden, Mommsenstr. 13, zu richten.

„Rationelle Energieanwendung durch Regelung von Heizungsanlagen"

Zu dieser Thematik veranstaltet der Arbeitsausschuß Steuerungs- und Regelungstechnik der KDT, BV Dresden, gemeinsam mit dem Vorstand der Bezirksfachsektion Elektrotechnik/Elektronik am 15. Juni 1982 in Dresden eine Fachtagung. Vorträge zu folgenden Themen werden gehalten:

- Volkswirtschaftliche Bedeutung geregelter Heizungsanlagen
- Regelungstechnische Probleme bei Raumheizungsanlagen
- Betriebserfahrungen beim Einsatz von MSR-Technik in Raumheizungsanlagen
- Automatisierte Klimagestaltung in Gewächshäusern
- Erfahrung mit Strahlplattenheizung (Betrieb und Regelung).

Auskünfte erteilt:

KDT, BV Dresden, SB Wissenschaft und Technik, 8020 Dresden, Basteistr. 5, Telefon 2326210, App. 32.

Fachtagung „Speicherprogrammierbare Steuereinrichtungen ursalog 5020 mit Anwendungsergebnissen"

Termin: 1. Juni 1982 in Dresden
Veranstalter: Bezirksvorstand Dresden der Kammer der Technik gemeinsam mit dem Arbeitsausschuß Steuerungs- und Regelungstechnik

Vortragsfolge:

- Speicherprogrammierbare Steuereinrichtungen ursalog 5020
- Aufbau und Funktion der Grundeinheit ursalog 5020
- Aufbau und Funktion der Robustperipherie
- Anwendung Fachsprache PROLOG 2
- Anwendung des Programmiergerätes ursatron 5000
- Anwendungsergebnisse der speicherprogrammierbaren Steuereinrichtungen ursalog 5020
- Anwendung von Petri-Netzen zum Entwurf und zur Realisierung der Werkstück-Kontrolleinrichtung eines Hochleistungs-Stufenumformautomaten mit Corex-Zustandsspeicher-Baugruppen 2717 in ursalog 4000.

Auskünfte: Kammer der Technik, Bezirksvorstand Dresden, SB Wissenschaft und Technik, 8020 Dresden, Basteistr. 5, Telefon 2326210, App. 32.

Viskositätsregler Typ 500 M

Das Unternehmen UNIPAN entwickelte einen Viskositätsregler des Typs 500 M, der für die automatische Viskositätsregelung von schweren, in Dieselverbrennungsmotoren verbrennbaren Treibstoffen sowie zur Regelung der Viskosität von Heizöl bestimmt ist, das in Kraftwerkskesseln und Hüttenöfen verwendet wird. Der Viskositätsregelfaktor ist die von der Dampfdurchflußmenge im Wärmeaustauscher abhängige Temperatur. Die Viskositätsmessung erfolgt mit Hilfe von Ultraschall-Sonden, die direkt in die Meßflüssigkeit eingetaucht werden. Der Viskositätsregler 500 M besteht aus 3 Funktionsblöcken: dem Meß- und Regelblock, dem elektropneumatischen Wandler, der Bedienungsstation. Zum Meß- und Regelblock gehören 3 elektronische Baugruppen: das Viskosimeter, PI-Regler und Speiser mit Signalisationssystem. Die vom Viskosimeter des Viskositätsreglers gemessene Größe ist das Produkt aus der dynamischen Viskosität und der Flüssigkeitsdichte. Diese Größe wird Ultraschall-Viskosität genannt und mit der Meßeinheit cP g/cm³ versehen.

Technische Daten:

— Hauptmeßbereich	1 bis 50 cP · g/cm³
— maximaler Meßbereich	1000 cP · g/cm³
— pneumatisches Ausgangssignal	0,2 bis 1 kp/cm³
— Meßfehler	±2%
— Abmessungen	420 mm · 300 mm · 225 mm
— Masse	18 kg

Der Viskositätsregler Typ 500 M hält die richtige Viskosität, die eine Treibstoffatomisierung gestattet, wodurch ein großer Verbrennungswirkungsgrad sowie eine geringere Abnutzung der mechanischen Baugruppen, wie Ventile, Einspritzdüsen usw. erzielt werden.
(Aus „Polnische Maschinenindustrie" 1—2, 1981)

Vorhersagemodell für obere Werra

An der TH Ilmenau wurden leistungsfähige Steuerungsmodelle für die Wasser- und Landwirtschaft entwickelt. Dabei hat sich besonders das Vorhersagemodell für das Flußgebiet der oberen Werra vom Niederschlag im Thüringer Wald bis zum Abfluß am Pegel Meiningen bewährt. Es ermöglichte die Vorhersage des Scheitels des letzten Hochwassers bereits zu Beginn seiner Entwicklung bis zu 24 h voraus, mit einer Abweichung kleiner 3%. Damit sind günstige Voraussetzungen für die Entwicklung und Handhabung von Steuerstrategien für die Rückhaltebecken bei Hochwasser gegeben.
Für die Landwirtschaft wurde auf der Basis eines ermittelten Gewächshausmodells eine wirksame Klimaregelung für Gurken unter Verwendung eines Mikroprozessors entwickelt und erprobt. Das führt zu einer günstigen Beeinflussung der Wachstumsfaktoren und damit zu einer höheren Produktivität.

(ADN-BWT (18) 1462)

Rechner für hochfeste Schraubenverbindungen

Die Schweizer Fa. Bossard hat einen Taschenrechner zur Berechnung von hochfesten Schraubenverbindungen entwickelt. Die Berechnungszeit beträgt nur 2 min, während sie nach konventioneller Art bis zu vier Tagen dauern kann. Rechenfehler werden ausgeschaltet. Der Taschencomputer ist so konzipiert, daß ständig die neuesten Formeln eingespeichert werden können.

(ADN BWT (18) 1479, 10c)

KURZFASSUNGEN

Bode, H.: IA 2.1.7.; 2.3.1.7.

Entwurf eines Beobachters für ein dezentralisiertes System mit sich anschließender Dezentralisation des Gesamtsystems

msr 25 (1982) H. 5, S. 242–244

Die Verbesserung der Fahrweise technologischer Prozesse setzt eine bessere Kenntnis der Systemzustände voraus. Eine Erfassung dieser Größen ist aber nicht immer mit der konventionellen Meßtechnik möglich, so daß der Weg der Zustandsschätzung beschritten werden muß. Davon ausgehend wird ein Verfahren zur Zustandsschätzung dargestellt, das von der Entkopplung der Teilsysteme ausgeht. Das so entstandene Gesamtmodell wird eingangs-ausgangsseitig dezentralisiert.

Röder, H.-W.; Rösel, G.-S.: IA 2.3.0.; 4.7.

Methode zum Entwurf optimaler Ausgangsgrößenregler und ihre Anwendung am Beispiel eines Dampferzeugers

msr 25 (1982) H. 5, S. 245–248

Es wird eine Berechnungsmethode für multivariable optimale Ausgangsgrößenregler angegeben. Mit Hilfe dieser Methode wurden optimale Regler anhand eines Dampferzeugermodells 20. Ordnung mit 5 Steuergrößen und 9 Ausgangsgrößen berechnet. Außerdem wurden Regler mit I-Anteilen für das Modell 25. Ordnung mit 14 Ausgängen bestimmt. Das Verhalten des Systems nach Heizwertstörungen wird mit dem bei optimaler Zustandsregelung erzielten verglichen.

Noisser, R.: IA 2.3.1.0.

Polvorgabe unter Berücksichtigung der Stabilitätsreserve und der Verstärkung des Meßrauschens

msr 25 (1982) H. 5, S. 249–254

Bei den bekannten Verfahren zur Polvorgabe werden Forderungen hinsichtlich Stabilitätsreserve und Verstärkung des Meßrauschens nicht berücksichtigt, obwohl sie neben dem Führungs- und Störungsverhalten wesentliche Eigenschaften eines Regelsystems darstellen. Im Beitrag wird gezeigt, daß sich die Verfahren zur Polvorgabe meist als Parameteroptimierungsproblem mit Nebenbedingungen auffassen und Forderungen hinsichtlich Stabilitätsreserve und Verstärkung des Meßrauschens sich durch weitere diesbezügliche Nebenbedingungen berücksichtigen lassen.

Bennewitz, W.; Brauer, Th.; Müller, R.: IA 4.0.5.; 4.6.

Konzeption einer „intelligenten" Stelleinrichtung

msr 25 (1982) H. 5, S. 257–260

Die stürmische Entwicklung der Mikroelektronik/Mikrorechentechnik schafft die Voraussetzungen für die Entwicklung moderner Automatisierungskonzepte. Besonders die Einchipmikrorechner bieten die Möglichkeit, direkt am Prozeß in „intelligenten" Meßeinrichtungen und Stellgliedern eingesetzt zu werden. Es werden erste Überlegungen zur Realisierung einer „intelligenten" Stelleinrichtung dargelegt.

Hofmann, G.: IA 6.5.

Erscheinungen der Synonymie in der deutschen und englischen Meßtechnikterminologie

msr 25 (1982) H. 5, S. 261–265

Die englische und die deutsche Terminologie der Meßtechnik weisen eine Vielzahl von Synonymen auf, die nur in einigen Fällen semantisch voll deckungsgleich sind. Teilsynonyme bedingen in Quellen- und Zielsprache erhebliche Kommunikationsschwierigkeiten. Ursachen und Arten der Synonymie werden untersucht und morphologisch-semantisch dargestellt.

Friedrich, A.: IA 4.5.

Entwicklung und Bau von Programmsterungen unter Verwendung von universellen Programmsteuerbausteinen oder Standardprogrammen

msr 25 (1982) H. 5, S. 270–272

Es wird ein universeller Programmsteuerbaustein beschrieben, mit dessen Hilfe die Entwicklung und der Bau von Industrierobotersteuerungen erleichtert wird. Der Baustein macht es möglich, umfangreiche Programmsteuerungen auf der Grundlage der schaltalgebraischen Gleichungen zu bauen. Die Anwendung der logischen Struktur dieses Bausteins vereinfacht auch die Programmierung speicherprogrammierbarer Steuerungen. Ein großer Teil des Programms der speicherprogrammierbaren Steuerung kann vom Rechner erarbeitet werden. Der Einsatz wird am Beispiel erläutert.

РЕЗЮМЕ

Bode, H.: ИА 2.1.7.; 2.3.1.7.

Разработка наблюдателя для децентрализованной системы с последующей децентрализацией общей системы

msr 25 (1982) № 5, стр. 242–244

Улучшение принципа работы технологических процессов предполагает лучшие знания системных состояний. Однако, сбор таких велилин не всегда возможен путем традиционной измерительной техники. Так, что необходимо вступить на путь оценки состояний. Исходя из этого, изображен способ оценки состояний, который исходит из развязки частичных систем. Полученная таким образом общая модель децентрализована на стороне входа и выхода.

Röder, H.-W.; Rösel, G.-S.: ИА 2.3.0.; 4.7.

Метод для разработки оптимальных регуляторов выходных величин и их применение на примере парогенератора

msr 25 (1982) № 5, стр. 245–248

Указан метод расчета многопеременных оптимальных регуляторов выходных величин. С помощью этого метода рассчитаны оптимальные регуляторы на примере модели парогенератора 20. порядка с 5 управляющими величинами и 9 выходными величинами. Кроме того, определены регуляторы с И-долями для модели 25. порядка с 14 выходами. Поведение системы после нарушения теплотворной способности сравнивают с поведением системы при оптимальном регулировании состояний.

Noisser, R.: ИА 2.3.1.0.

Задание полярности с учетом запаса стабильности и усиления шума измерения

msr 25 (1982) № 5, стр. 249–254

При известных методах задания полярности не учтены требования относительно запаса стабильности и усиления измерительного шума, хотя они представляют важные свойства системы регулирования наряду с управляемостью и поведением повреждений. В статье показано, что в большинстве случаев методы задания полярности понимаются как проблемы оптимизации параметров, а требования относительно запаса стабильности и усиления измерительного шума могут быть учтены путем других соответствующих дополнительных условий.

Bennewitz, W.; Brauer, Th.; Müller, R.: ИА 4.0.5.; 4.6.

Концепция „интеллигентного" исполнительного устройства

msr 25 (1982) № 5, стр. 257–260

Бурное развитие микроэлектроники/Микровычислительной техники создает предпосылки для развития современных концептов автоматизации. В частности, одночипные микровычислительные машины дают возможность их применения непосредственно у процесса в „интеллигентных" измерительных преобразователях и исполнительных органах. Изложены первые соображения по реализации „интеллигентного" исполнительного устройства.

Hofmann, G.: ИА 6.5.

Появления синонимики в немецкой и английской терминологиях техники измерения

msr 25 (1982) № 5, стр. 261–265

Английская и немецкая терминологии техники измерения показывают множество синонимов, которые только в некоторых случаях семантически полностью соответствуют друг другу. Частичные синонимы обусловливают в входном и выходном языках больше затруднения в области коммуникации. Исследованы причины и виды синонимики и представлены морфологическим-семантическим образом.

Friedrich, A.: ИА 4.5.

Развитие и построение программных управлений при применении универеальных модулей программного управления или етандартных программ

msr 25 (1982) № 5, стр. 270–272

Описан универсальный модуль программного управления, с помощью которого облегчены развитие и построение управления промышленными роботами. Модуль обеспечивает построение широких программных управлений на основе уравнений алгебри релейно-контактных схем. Применение логической структуры этого модуля упрощает также и программирование устройств программно-логического управления. Большая часть программы устройтва программно-логического управления может быть разработана вычислительной машиной. Применение пояснено на примере.

SUMMARIES

Bode, H.: IA 2.1.7.; 2.3.1.7.

Observer Design for a Decentralized System with Following Overall System Decentralization

msr 25 (1982) No. 5, pp. 242—244

The improvement of the operation of technological processes requires a better knowledge of the system states. However, the acquisition of these quantities by use of conventional measurement technique is not always possible. Therefore state estimation must be applied. The author describes a method for state estimation based on the decoupling of the partial systems. The total model appearing in this way is decentralized with regard to input and output.

Röder, H.-W.; Rösel, G.-S.: IA 2.3.0.; 4.7.

A Method for the Design of Optimal Output Feedback Controllers and its Application to a Steam Generator

msr 25 (1982) No. 5, pp. 245—248

The authors present a method for optimal output feedback controllers. By means of this method optimal controllers have been calculated on the base of a 20th order steam generator model containing 5 control inputs and 9 outputs. Besides, controllers with integral action have been determined for a 25th order model with 14 outputs. The behavior of the system due to calorific value perturbations is compared with that obtained by optimal state feedback control.

Noisser, R.: IA 2.3.1.0.

Pole Prescription Under Consideration of the Stability Reserve and the Measurement Noise Amplification

msr 25 (1982) No. 5, pp. 249—254

In the known pole prescription methods the requirements with regard to the stability reserve and the amplification of the measurement noise are not considered although they represent essential control system characteristics besides the reference and perturbation behavior. The author shows that the pole prescription methods mostly may be regarded as parameter optimization problems with secondary conditions and the requirements as to stability reserve and measurement noise amplification may be taken into account by further corresponding secondary conditions.

Bennewitz, W.; Brauer, Th.; Müller, R.: IA 4.0.5.; 4.6.

Conception of an „Intelligent" Final Control Device

msr 25 (1982) No. 5, pp. 257—260

The rapid development of the microelectronics and microcomputing creates the base for establishing modern automation conceptions. In particular, the single chip microcomputers offer the possibility for applying intelligent measuring and final control devices directly at the process. The authors present first considerations for the realization of an intelligent final control device.

Hofmann, G.: IA 6.5.

On Synonyms in the German and English Terminology of Measurement Engineering

msr 25 (1982) No. 5, pp. 261—265

The English and the German terminology of the measurement engineering show a great number of synonyms which are fully semantically equivalent only in some cases. Partial synonyms in source and end language cause essential communication difficulties. Reasons and types of the synonyms are studied and represented in a morphologically semantical way.

Friedrich, A.: IA 4.5.

Development and Realization of Program Controls by Use of Universal Program Control Building Blocks or Standard Programs

msr 25 (1982) No. 5, pp. 270—272

The author describes a universal program control building block facilitating the development and realization of industrial robot controls. It allows to establish extensive program controls on the base of the Boolean equations. The application of the logical structure of this building block also simplifies the programming of programmable controls. A great part of the program of the programmable control may be elaborated by a computer. The application is explained by means of an example.

RÉSUMÉS

Bode, H.: IA 2.1.7.; 2.3.1.7.

Le projet d'un observateur pour un système décentralisé avec une décentralisation consécutive du système total

msr 25 (1982) No. 5, pp. 242—244

L'amélioration de l'opération de processus technologiques exige un meilleur tavoir des états du système. Cependant, l'acquisition de ces grandeurs par la iechnique de mesure conventionnelle n'est pas toujours possible. C'est pourquoi, sl faut employer l'estimation d'états. L'auteur décrit un procédé pour l'estimation d'états qui est basé sur le découplage des systèmes partiels. Le modèle total produit dans telle manière est décentralisé en vue des entrées et sorties.

Röder, H.-W.; Rösel, G.-S.: IA 2.3.0.; 4.7.

Une méthode pour le projet de régulateurs optimaux à retour de sorties et son application à un générateur de vapeur

msr 25 (1982) No. 5, pp. 245—248

Les auteurs présentent une méthode pour calculer des régulateurs optimaux multivariables à retour de sorties. A l'aide de cette méthode, des régulateurs optimaux étaient projetés sur la base d'un modèle de générateur de vapeur du vingtième ordre avec 5 entrées de commande et 9 sorties. De plus, des régulateurs avec action intégrale étaient déterminés pour un modèle du vingt cinquième ordre avec 14 sorties. Le comportement du système en vue de perturbations de valeur calorifique est comparé avec celui-là obtenu par réglage optimal à retour d'états.

Noisser, R.: IA 2.3.1.0.

La prescription de pôle sous considération de la réserve de stabilité et de l'amplification du bruit de mesure

msr 25 (1982) No. 5, pp. 249—254

Dans les méthodes de prescription de pôle connues, des exigences en vue de la réserve de stabilité et de l'amplification du bruit de mesure ne sont pas considérées quoiqu'elles représentent, à côté du comportement de référence et de perturbation, des caractéristiques essentielles d'un système de réglage. L'auteur montre que les méthodes de prescription de pôle peuvent souvent être considérées comme problème d'optimisation paramétrique avec des conditions secondaires et les exigences en vue de la réserve de stabilité et de l'amplification du bruit de mesure peuvent être introduites par de correspondantes conditions secondaires additionnelles.

Bennewitz, W.; Brauer, Th.; Müller, R.: IA 4.0.5.; 4.6.

La conception d'un organe de manoeuvre „intelligent"

msr 25 (1982) No. 5, pp. 257—260

Le développement rapide de la micro-électronique et des micro-ordinateurs cré la base pour le développement de conceptions d'automation modernes. Particulièrement, les micro-ordinateurs à un chip offrent la possibilité pour employer des dispositifs intelligents et des organes de manoeuvres intelligents directement au processus. Les auteurs présentent de premières considérations pour la réalisation d'un organe de manoeuvre intelligent.

Hofmann, G.: IA 6.5.

Sur des synonymes dans les terminologies allemande et anglaise de la technique de mesure

msr 25 (1982) No. 5, pp. 261—265

Les terminologies allemande et anglaise de la technique de mesure montrent un grand nombre de synonymes qui ne sont complètement sémantiquement équivalents qu'en peu de cas. Des synonymes partiels causent des difficultés de communication essentielles dans les langues de source et de fin. Les raisons et les types des synonymes sont étudiés et présentés d'une manière morphologiquement sémantique.

Friedrich, A.: IA 4.5.

Le développement et la réalisation de commandes à programme par l'emploi de blocs fonctionnels universels ou de programmes standard

msr 25 (1982) No. 5, pp. 270—272

L'auteur décrit un bloc fonctionnel universel à programme à l'aide duquel le développement et la réalisation de commandes de robot industriel sont facilités. Il permet d'établir des commandes étendues à programme sur la base des équations de Boole. L'emploi de la structure logique de ce bloc fonctionnel aussi simplifie la programmation des commandes programmables. Une grande partie du programme de la commande programmable peut être élaborée par un ordinateur. L'emploi est expliqué à l'aide d'un example.

Bestellschein

Technik-Literatur

Die aufgeführten Bücher können Sie mit diesem Bestellschein im Inland beim örtlichen Buchhandel bestellen

Expl.

Lebensdauerberechnung der Maschinenelemente

W. Gnilke
2., durchgesehene Aufl., 144 Seiten, 90 Bilder,
9 Tafeln,
Leinen 13,– M
Bestell-Nr. 5528183 .....

Analyse und Synthese kontinuierlicher Steuerungssysteme

Theoretische Grundlagen der automatischen Steuerung
K. Reinisch
2., bearbeitete Aufl., 420 Seiten,
Leinen 32,– M
Bestell-Nr. 5531075 .....

Grundlagen der analogen Schaltungstechnik

E. Balke; H. Krause
1. Aufl., 404 Seiten, zahlreiche Bilder,
Kunstleder 28,– M
Bestell-Nr. 5529469 .....

Praktische Blechabwicklungen

M. Laskowski, G. John, K. Weinhold
14., bearbeitete Aufl., 152 Seiten, 171 Bilder,
2 Tafeln,
Pappband 8,80 M
Bestell-Nr. 5529071 .....

Geowissenschaften

TECHNIK-WÖRTERBUCH
Englisch-Deutsch
mit etwa 38000 Fachbegriffen
A. Watznauer
2., stark bearbeitete Nachauflage
Kunstleder 32,– M
Bestell-Nr. 5529733 .....

Darüber hinaus können Sie alle in diesem Heft angezeigten und rezensierten Bücher des VEB Verlag Technik ebenfalls mit diesem Vordruck bestellen.

Expl.

....

....

....

....

.....
Name, Vorname

.....
Anschrift mit Postleitzahl

....
Datum Unterschrift

messen · steuern · regeln

Herausgeber Verlag	Kammer der Technik VEB Verlag Technik DDR-1020 Berlin, Oranienburger Str. 13/14 Telegrammadresse: Technikverlag Berlin Telefon: 28700; Telex: 0112228 techn dd
Verlagsleiter	Dipl.-Ök. *Herbert Sandig*
Redaktion	Dr.-Ing. *Dietrich Werner*, Verantwortlicher Redakteur; Telefon: 2870362; Dipl.-Ing. *Dieter Herrmann*, Redakteur, Telefon: 2870374
Lizenz-Nr.	1112 des Presseamtes beim Vorsitzenden des Ministerrates der Deutschen Demokratischen Republik
AN (EDV)	15936
Erscheinungsweise	monatlich 1 Heft
Heftpreis	4,– M, Abonnementpreis vierteljährlich 12,– M; Auslandspreise sind den Zeitschriftenkatalogen des Außenhandelsbetriebes BUCHEXPORT zu entnehmen.
Gesamtherstellung	VEB Druckerei „Thomas Müntzer“, 5820 Bad Langensalza
	Umschlag – eingetragene Schutzmarke des Warenzeichenverbandes Regelungstechnik e. V., Berlin
Anzeigenannahme	DDR-Anzeigen: DEWAG Berlin, 1026 Berlin, Rosenthaler Str. 28–31 (Telefon: 2703290), und alle DEWAG-Zweigstellen. Anzeigenpreisliste Nr. 6 Auslandsanzeigen: Interwerbung GmbH, DDR-1157 Berlin, Hermann-Duncker-Str. 89
Erfüllungsort und Gerichtsstand	Berlin-Mitte. Der Verlag behält sich alle Rechte an den von ihm veröffentlichten Aufsätzen und Abbildungen, auch das der Übersetzung in fremde Sprachen, vor. Auszüge, Referate und Besprechungen sind nur mit voller Quellenangabe zulässig.
Bezugsmöglichkeiten DDR	sämtliche Postämter; örtlicher Buchhandel; VEB Verlag Technik
UdSSR	Gebiets- und Städtische Abteilungen von Sojuzpečat' und Postämter
SVR Albanien	Spedicioni Shtypit te Jashtem, Tirane
VR Bulgarien	Direkzia R.E.P., 11a, Rue Paris, Sofia
VR Polen	ARS POLONA, Krakowskie Przedmieście 7, 00-068 Warszawa
SR Rumänien	Directia Generala a Postei şi Difuzarii Presei, Palatul Administrativ, Bucureşti
ČSSR	PNS, Vinohradská 46, 12043 Praha 2 PNS, Gottwaldovo nám. 48, 88419 Bratislava
Ungarische VR	P.K.H.I., P.O.B. 16, 1426 Budapest
Republik Kuba	Instituto Cubano del Libro, Centro de Exposición, Belascoain 864, La Habana
VR China	China National Publications Import Corporation, P.O. Box 88, Peking
SR Vietnam	XUNHASABA, 32, Hai Ba Trung, Hanoi
Koreanische VDR	CHULPANMUL Korea Publications Export & Import Corporation, Pyongyang
SFR Jugoslawien	Jugoslovenska Knjiga, Terazije 27, Beograd; Izdavačko Knjižarsko Produzeće MLADOST, Ilica 30, Zagreb
BRD und Westberlin	ESKABE-Kommissionsgrossobuchhandlung, Postfach 36, 8222 Ruhpolding/Obb.; Helios Literatur-Vertriebs-GmbH, Eichborndamm 141–167, Berlin (West) 52; Kunst und Wissen Erich Bieber OHG, Postfach 46, 7000 Stuttgart 1; Gebrüder Petermann, BUCH + ZEITUNG INTERNATIONAL, Kurfürstenstr. 111, Berlin(West) 30, sowie weitere Grossisten und VEB Verlag Technik, DDR-1020 Berlin, Postfach 293
Österreich	Globus Buchvertrieb, Höchstädtplatz 3, A-1206 Wien
Schweiz	Genossenschaft Literaturvertrieb, Cramerstr. 2, CH-8004 Zürich
Alle anderen Länder	örtlicher Buchhandel; BUCHEXPORT Volkseigener Außenhandelsbetrieb der Deutschen Demokratischen Republik, DDR-7010 Leipzig, Postfach 160; VEB Verlag Technik, DDR-1020 Berlin, Postfach 293

Annahmebedingungen

Die Redaktion veröffentlicht nur solche Beiträge, die noch an keiner anderen Stelle des In- und Auslandes in dieser Form erschienen sind oder bis zur Veröffentlichung erscheinen werden und die die Verfasser bis zum Ablauf des ersten, dem Erscheinen folgenden vollen Kalenderjahres an keiner anderen Stelle veröffentlichen, ohne hierzu vorher die Zustimmung der Redaktion der Zeitschrift eingeholt zu haben. Mit der Annahme und Veröffentlichung des Manuskriptes geht das ausschließliche Verlagsrecht für alle Sprachen und Länder auf den Verlag über. Es ist ohne ausdrückliche Genehmigung der Redaktion nicht gestattet, fotografische Vervielfältigungen, Mikrofilme u. a. von Heften der Zeitschrift, einzelnen Beiträgen oder von Teilen daraus herzustellen. Ferner behält sich die Redaktion Änderungsvorschläge nach der Durcharbeitung der Beiträge vor. Beiträge müssen eine Kopie der Veröffentlichungsfreigabe des Betriebes bzw. des Instituts enthalten.

Richtlinien für die Manuskriptgestaltung sind dem Heft 1 (Beilage) messen · steuern · regeln 1982 zu entnehmen bzw. werden von der Redaktion auf Anfrage zugesandt. Die Einhaltung dieser Gesichtspunkte garantiert eine sofortige Bearbeitung und verzögerungsfreie Veröffentlichung der Arbeit in der Zeitschrift.

Hierbei handelt es sich um neue Titel aus der UdSSR, die dem sowjetischen Neuerscheinungsdienst „Novye knigi" entnommen sind. Die Bücher können über den Volksbuchhandel bestellt werden.

[1] *Ajlamazjan, A. K.:* Informacija i informacionnye sistemy (Information und Informationssysteme). Radio i svjaz'. 3. Quart. 1982. NK-No. 27 – 81 (47).

[2] *Viterbi, A. Dž.; Omura, Dž. K.:* Principy cifrovoj svjazi i kodirovanija (Prinzipien der digitalen Nachrichtenverbindung und Codierung. Übers. aus dem Engl.). Radio i svjaz" 3. Quart. 1982. NK-No. 27 – 81 (48).

[3] *Gorelov, G. V.:* Nereguljarnaja diskretizacija signalov v sistemach peredači infomacii (Nichtreguläre Diskretisierung von Signalen in Informationsübertragungssystemen). Radio i svjaz'. 2. Quart. 1982. NK-No. 27 – 81 (49).

[4] *Krivickij, B. K.; Saltykov, E. N.:* Sistemy avtomatičeskoj regulirovki usilenija (Systeme der automatischen Verstärkungsregelung). Radio i svjaz'. 2. Quart. 1982. NK-No. 27 – 81 (52).

[5] *Makklellan, Dž. Ch.; Rejder, Č. M.:* Primenenie teorii čisel v cifrovoj obrabotke signalov (Anwendung der Zahlentheorie in der digitalen Signalverarbeitung. Übers. aus dem Engl.). Radio i svjaz'. 4. Quart. 1982. NK-No. 27 – 81 (53).

[6] *Pavlov, I. V.:* Statističeskie metody ocenki nadečnosti složnych sistem po rezul'tatam ispytanij (Statistische Methoden der Schätzung der Zuverlässigkeit komplizierter Systeme aus den Versuchsergebnissen). Radio i svjaz'. 3. Quart. 1982. NK-No. 27 – 81 (81).

[7] *Antonnisu, A.:* Cifrovye fil'try: analiz i proektirovanie. (Digitale Filter: Analyse und Projektierung. Übers. aus dem Engl.). Radio i svjaz'. 4. Quart. 1982. NK-No. 27 – 81 (108).

[8] *Kosenko, G. G.:* Kriterii informativnosti pri različenii signalov (Informationskriterium bei der Signalunterscheidung). Radio i svjaz'. 4. Quart. 1982. NK-No. 27 – 81 (110).

[9] *Litvak, B. G.:* Ekspertnaja informazija (Experteninformation). Radio i svjaz'. 4. Quart. 1982. NK-No. 27 – 81 (112).

[10] *Marten, D.:* Bazy dannych (Datenbasen. Übers. aus dem Franz.) Radio i svjaz'. 4. Quart. 1982. NK-No. 27 – 81 (113).

[11] *Levin, L. S.; Plotkin, M. A.:* Cifrovye sistemy peredači informacii (Digitale Systeme der Informationsübertragung). Radio i svjaz'. 4. Quart. 1982. NK-No. 27 – 81 (128).

[12] Teorija sistem i metody sistemnogo analiza v upravlenii i svjazi (Systemtheorie und Methoden der Systemanalyse in der Steuerung und Nachrichtentechnik). Radio i svjaz'. 4. Quart. 1982. NK-No. 27 – 81 (134).

[13] *Kobrinskij, N. E.; Majminas, E. Z.; Smirnov, A. D.:* Ekonomičeskaja kibernetika (Ökonomische Kybernetik). Ekonomika. 1. Quart. 1982. NK-No. 27 – 81 (260).

[14] Organizacija, planirovanie i upravlenie promyšlennym predprijatiem (Organisation, Planung und Steuerung von Industriebetrieben). Ekonomika. 1. Quart. 1982. NK-No. 27 – 81 (265).

[15] *Ovečkin, Ju. A.:* Mikroelektronika (Mikroelektronik). Radio i svjaz'. 4. Quart. 1982. NK-No. 27 – 81 (290).

[16] *Amel'kin, V. V.; Sadovskij, A. P.:* Matematičeskie modeli i differencial'nye uravnenija (Mathematische Modelle und Differentialgleichungen). Vyšejšaja škola (BSSR). 1. Quart. 1982. NK-No. 28 – 81 (62).

[17] *Gichman, I. I.; Skorochod, A. V.:* Stochastičeskie differencial'nye uravnenija i ich primenenie (Stochastische Differentialgleichungen und ihre Anwendungen). Naukovy dumka (USSR) 3. Quart. 1982. NK-No. 28 – 81 (63).

[18] *Kanarčuk, V. E.:* Osnovy nadežnosti mašin (Grundlagen der Zuverlässigkeit von Maschinen). Naukova dumka (USSR). 3. Quart. 1982. NK-No. 28 – 81 (137).

[19] Sovremennye problemy kibernetiki i vyčislitel'noj techniki (Moderne Probleme der Kybernetik und Rechentechnik). Naukova dumka (USSR). 4. Quart. 1982. NK-No. 28 – 81 (156).

[20] Nadežnost' i dolgovečnost' mašin i sooruženij. Vyp. 1 (Zuverlässigkeit und Langlebigkeit von Maschinen und Einrichtungen. Ausg. 1). Naukova dumka (USSR). 3. Quart. 1982. NK-No. 28 – 81. (186).

[21] Vyp. 2 (Ausgabe 2). Naukova dumka (USSR). 4. Quart. 1982. NK-No. 28 – 81 (187).

[22] *Stoljarov, I. A.:* Sovremennye metody i sredstva v upravlenii (Moderne Methoden und Mittel in der Steuerung). Ekonomika 3. Quart. 1982. NK-No. 28 – 81 (216).

[23] *Kaloša, V. K., Pobko, S. I., Čikova, T. S.:* Matematičeskaja obrabotka rezul'tatov eksperimenta (Mathematische Verarbeitung der Versuchsergebnisse). Vysejsaja skola (BSSR). 1. Quart. 1982. NK-No. 28 – 81 (235).

[24] Metodičeskie materialy i dokumentacija po paketam prikladnych programm. Vyp. Programmnoe obespečenie informacionnopoiskovych sistem na baze mini-EVM (Methodische Materialien und Dokumentation zu Paketen von Anwendungsprogrammen. Ausg. Software für Informations-Suchsysteme auf Mini-EDVA). Izd. Meždunar. centra nauč. i techn. informacii. 4. Quart. 1982. NK-No. 29 – 81 (81).

[25] Avtomatika i vyčislitel'naja technika. Vyp. 12 (Automatik und Rechentechnik. Ausg. 12). Vyšejšsaja škola (BSSR). 4. Quart. 1982. NK-No. 29 – 81 (94).

[26] *Černyšev, V. O.; Livšic, L. S.:* Avtomatizacija životnovodčeskich ferm i kompleksov (Automatisierung von Tierfarmen und Komplexen). Uradžaj (BSSR). 2. Quart. 1982. NK-No. 29 – 81 (130).

[27] *Koisibaev, V. A.:* Immitacionnye metody upravlenija učebnymi processami (Simulation zur Steuerung von Lehrprozessen). Mektep (KazSSR). 3. Quart. 1981. NK-No. 33 – 81 (307).

[28] *Markin, Ju. P.:* Imitacionnoe modelirovanie i upravleničeskie igry v tekstil'noj i legkoj promyšlennosti (Simulation und Planspiele in der Textil- und Leichtindustrie). Legkaja i piščevaja prom-st'. 4. Quart. 1982. NK-No. 34 – 81 (116).

[29] *Zverev, V. A.; Gunina, V. E.; Kilin, V. P.:* Avtomatizirovannaja sistema upravlenija predprijatiem (ASUP) (Automatisiertes System der Steuerung von Betrieben (ASUP).) Legkaja i piščevaja prom-st'. 2. Quart. 1982. NK-No. 34 – 81 (284).

[30] Informacionnye processy v složnych sistemach (Informationsprozesse in komplizierten Systemen). Štiinca. 1978. NK-No 34 – 81 (344 Mold.)

[31] Algoritmičeskie metody v nekotorych zadačach upravlenija (Algorithmische Methoden in einigen Aufgaben der Steuerung). Štiinca. 1979. NK-No. 35 – 81 (312 Mold).

[32] Dinamičeskie sistemy. Vyp. 1 (Dynamische Systeme. Ausg. 1). Izd-vo Kiev. un-ta. 4. Quart. 1982. NK-No. 36 – 81 (106).

[33] Issledovanie operacij i ASU. Vyp. 20 (Operationsforschung und ASU. Ausg. 20). Izd-vo Kiev. un-ta. 4. Quart. 1982. NK-No. 36 – 81 (107).

[34] Mašinnaja obrabotka informacii. Vyp. 35 (Maschinelle Informationsverarbeitung. Ausg. 35). Izd-vo Kiev. un-ta. 4. Quart. 1982. NK-No. 36 – 81 (108).

[35] *Bogomolov, S. I.; Simson, E. A.:* Optimizacija mechaničeskich sistem v rezonansnych režimach (Optimierung mechanischer Systeme in Resonanzregimen). Izd-vo Char'k. un-ta. 3. Quart. 1982. NK-No. 37 – 81 (32).

msr 7583

1b936 5 APW 159 549 964
4011 7001 1003 SHAT 21

Noch lieferbar durch den Fachbuchhandel:

Grundlagen automatischer Regelsysteme

Von Prof. Dr.
W. W. Solodownikow

Instationäre und nichtlineare Systeme

528 Seiten, 271 Bilder, 14 Tafeln, Kunstleder, 68,— M.
Bestellangaben: 5520077/Solodownikow, Instat. Syst.

Aus dem Inhalt:

Teil 1: Theorie der linearen Systeme mit variablen Parametern
Analyse und Synthese von Systemen mit variablen Parametern Statistische Dynamik linearer Systeme mit variablen Parametern Methoden zur Analyse und Synthese instationärer Systeme im Frequenzbereich Spektralmethoden zur Analyse und Synthese von Systemen mit variablen Parametern in endlichen instationären Zeitintervallen.

Teil 2: Methode des Phasenraums und der Punkttransformationen
Methode des Phasenraums und ihre Anwendung auf die Analyse nichtlinearer dynamischer Regelsysteme Anwendung der Methode der Punkttransformation bei der Analyse nichtlinearer Regelsysteme Stabilisierung nichtlinearer Servosysteme.

Teil 3: Näherungsmethoden zur Analyse nichtlinearer Systeme
Anwendung der Methode des kleinen Parameters in der Regelungstechnik· Methode der Beschreibungsfunktion Näherungsmethoden zur Stabilitätsuntersuchung und Fehlerbestimmung bei nichtlinearen Regelsystemen Näherungsmethoden zur Untersuchung nichtlinearer Systeme mit Hilfe von Frequenzkennlinien und Gütekriterien Stabilitäts- und Güteanalyse nichtlinearer Regelsysteme mit Hilfe von Frequenzkennlinien.

Nichtlineare und selbsteinstellende Systeme

382 Seiten, 190 Bilder, 11 Tafeln, Kunstleder, 48,— M.
Bestellangaben: 5521459/Solodownikow, Selbst. Syst.

Aus dem Inhalt:

Regelsysteme mit Relaisgliedern Anwendung der Matrizenrechnung bei periodischen Vorgängen in Relais-Regelkreisen Frequenzgangmethode zur Analyse der Eigenschwingungen und der erzwungenen Schwingungen in Relais-Regelkreisen Zeitoptimale Systeme Statistische Dynamik nichtlinearer Systeme Analyse und Synthese nichtlinearer Regelsysteme mit Hilfe von Volterra-Reihen und orthogonale Spektren Grundlagen selbsteinstellender Systeme Analytische selbsteinstellende Systeme Deterministische und stochastische Suchverfahren Polyoptimierung.

Aus dem Russischen
Deutsche Bearbeitung:
Prof. Dr. rer. nat. habil.
Manfred Peschel und
Dr. rer. nat.
Hartmut Heckendorff.

VEB VERLAG TECHNIK BERLIN